The Gift of

WILLIAM H. BUTTS, Ph.D.

A.B. 1878 A.M. 1879

Teacher of Mathematics

1898 to 1922

Assistant Dean, College of Engineering

1908 to 1922

Professor Emeritus

1922

RADCLIFFE OBSERVATORY OXFORD.

Digitized by Google

S. P. Rigaud
May 1st. 1837

QA
803.
.A1
1760

Digitized by Google

Digitized by Google

NEWTONI

PRINCIPIA PHILOSOPHIÆ,

CUM COMMENTARIO PERPETUO.

Digitized by Google

Digitized by Google

PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA;

AUCTORE

ISAACO NEWTONO, EQ. AURATO;

Perpetuis Commentariis illuſtrata, communi ſtudio

PP. THOMÆ LE SEUR & FRANCISCI JACQUIER,

Ex Gallicanâ Minimorum Familiâ,

Matheſeos Profeſſorum.

Editio altera longè accuratior & emendatior.

TOMUS PRIMUS.

COLONIÆ ALLOBROGUM,
Sumptibus CL. & ANT. PHILIBERT Bibliop.

M D C C L X.

Digitized by Google

OXFORD.
70# 4o f.

RERUM MATHEMATICARUM STUDIOSIS, *PHILOSOPHIÆ NEWTONIANÆ* INTERPRETES.

QUàm recondita ſint ſimùl & utilia *Philoſophiæ Naturalis Principia Mathematica*, norunt ii omnes qui vel ipſum Clariſſimi Authoris nomen audierunt. Tanta eſt rerum dignitas atque ſublimitas, tanta ſermonis pluſquàm Geometrica brevitas, ut præſtantiſſimum illud opus pauciſſimis duntaxat Geometris factum videatur. Eas ob cauſas viris Matheſeos cultioriſque Phyſices ſtudioſis gratiſſimam fore putavimus, eo modo comparatam interpretationem, ut omnes tam utilis Philoſophiæ propoſitiones, corollaria omnia atquè ſcholia inoffenſo pede poſſint decurrere, qui vel ipſis Geometriæ & vulgaris Algebræ ele-

Digitized by Google

mentis probè imbuti ſunt. Quod ut præſtaremus, Mechanices & Calculi infinitorum principia, quantùm inſtituti noſtri ratio poſtulat, Newtoni veſtigiis inſiſtentes demonſtràvimus; perbrevem, ſed theorematum fæcunditate plenum noſtris Commentariis inſeruimus tractatum Sectionum Conicarum; Quæ vel minimùm, nimiâ obſcuritate Lectori negotium parere poſſent, ea omnia exponere & in bono lumine collocare conati ſumus; quæ in ſcholiis, corollariis, propoſitionumque ſerie, prætermiſsâ demonſtratione, pronuntiat Newtonus, præmiſſis vel interjectis Lemmatis ſcrupulosè demonſtrata invenient, qui in ſola doctiſſimi Authoris verba jurare nolunt; eximia quæ in Newtoni propoſitionibus latent inventa, deteximus atque evolvimus; tandem cùm præſtantiſſima illa ſummi viri principia non ſolùm intelligere, ſed & illam quam ſibi aperuit ad inventionem viam explorare plurimùm delectationis habeat & utilitatis, diſperſa huc & illuc generalia quædam problema-

Digitized by Google

blemata Lector reperiet. Hæc ſunt quæ facere voluimus: quo exitu, penès benevolum Lectorem eſto judicium. Ex brevi illo commentariorum noſtrorum proſpectu ſatis patet quos nobis lectores poſtulemus; nec præſtantiſſimis Mathematicis nec imperito Philoſophorum vulgo nos ſcribere profitemur; ad hujuſce operis lectionem eos duntaxat admittimus qui ea quæ jam diximus elementa in promptu habent, & tali inſuper pollent mentis acie, ut longioris demonſtrationis vim atque ſeriem ſtudiosè perſequi & animo comprehendere poſſint.

De noſtris Commentariis hæc ſatis dicta ſint. Verùm naturalis æquitas & mathematicus candor poſtulant, ut nos plurimùm debere fateamur Doctiſſimis Viris, DAVIDI GREGORIO, VARIGNONIO, JACOBO HERMANNO, JOANNI KEILLIO, aliiſque multis, qui varias *Newtonianæ Philoſophiæ* partes luculentis ſcriptis illuſtrarunt. Eâdem æquitatis atque ingenuitatis lege à nobis religiosè factum eſt, ut

Digitized by Google

ut eos omnes quorum ſpoliis aliquandò diteſcimus, in Commentariorum noſtrorum decurſu honoris causâ nominemus. Publicum quoque grati animi teſtimonium deeſſe nolumus Clariſſ. D^no^. J. L. Calandrino in Academiâ Genevenſi Profeſſore in rebus Mathematicis verſatiſſimo, qui hanc noſtram Newtoni principiorum editionem adornari curavit ad normam elegantiſſimæ illius editionis, quæ additionibus multis locupletata *Londini* prodiit anno 1726. Deindè id ſibi laboris aſſumpſit vir doctiſſimus non ſolùm ut ſchemata incidi, ſuis locis diſponi, typographica menda corrigi ſedulò invigilaret, ſed etiam ea quæ jam laudavimus Sectionum Conicarum elementa compoſuit, & quæ à nobis non ſatis perſpicuè videbantur expoſita propriis notis aliquandò illuſtravit.

Hoc noſtro labore fruantur rerum mathematicarum Cultores.

Romæ *in Regio Conventu SS*^æ^. *Trinitatis*; *An.* 1739.

IL-

ILLUSTRISSIMÆ
SOCIETATI REGALI
A
SERENISSIMO REGE
CAROLO II.
AD PHILOSOPHIAM PROMOVENDAM
FUNDATÆ,
ET
AUSPICIIS
SERENISSIMI REGIS
GEORGII
FLORENTI

TRACTATUM HUNC D.D.D.

IS. NEWTON.

Digitized by Google

Digitized by Google

AUCTORIS PRÆFATIO AD LECTOREM.

CUM *veteres* mechanicam (*uti auctor eſt* Pappus) *in rerum naturalium inveſtigatione maximi fecerint* ; *&* *recentiores* , *miſſis formis ſubſtantialibus & qualitatibus occultis* , *phænomena naturæ ad leges mathematicas revocare aggreſſi ſint* ; *Viſum eſt in hoc tractatu* matheſim *excolere* , *quâtenus ea ad* philoſophiam *ſpectat.* Mechanicam *verò duplicem veteres conſtituerunt* : rationalem, *quæ per demonſtrationes accuratè procedit*, *&* practicam. *Ad practicam ſpectant artes omnes manuales*, *à quibus utique* mechanica *nomen mutuata eſt. Cùm autem artifices parùm accuratè operari ſoleant* , *fit ut* mechanica *omnis à* geometriâ *ita diſtinguatur*, *ut quicquid accuratum ſit ad* geometriam *referatur*, *quicquid minùs accuratum ad* mechanicam. *Attamen errores non ſunt artis* , *ſed artificum. Qui minùs accuratè operatur*, *imperfectior eſt mechanicus* , *& ſi quis accuratiſſimè operari poſſet*, *hic foret mechanicus omnium perfectiſſimus. Nam & linearum rectarum & circulorum deſcriptiones* , *in quibus* geometria *fundatur*, *ad* mechanicam *pertinent. Has lineas deſcribere* geometria *non docet*, *ſed poſtulat. Poſtulat enim ut tyro eaſdem accuratè deſcribere prius didicerit*, *quàm limen attingat* geometriæ ; *dein quomodo per has operationes problemata ſolvantur* , *docet* ; *rectas & circulos deſcribere problemata ſunt*, *ſed non geometrica. Ex* mechanica *poſtulatur horum ſolutio*, *in* geometria *docetur ſolutorum uſus. Ac gloriatur* geometria *quod tam paucis principiis aliunde petitis tam multa præſtet. Fundatur igitur* geometria *in praxi mechanica* , *& nihil aliud eſt quàm* mechanicæ univerſalis *pars illa* , *quæ artem menſurandi accuratè*

Digitized by Google

curatè proponit ac demonſtrat. Cùm autem artes manuales in corporibus movendis præcipuè verſentur, fit ut geometria *ad magnitudinem,* mechanica *ad motum vulgo referatur. Quo ſenſu* mechanica rationalis *erit ſcientia motuum, qui ex viribus quibuſcunque reſultant, & virium quæ ad motus quoſcunque requiruntur, accuratè propoſita ac demonſtrata. Pars hæc* mechanicæ *à veteribus in* potentiis quinque *ad artes manuales ſpectantibus exculta fuit; qui gravitatem (cùm potentia manualis non ſit) vix aliter quàm in ponderibus per potentias illas movendis conſiderarunt. Nos autem non artibus ſed philoſophiæ conſulentes, deque potentiis non manualibus ſed naturalibus ſcribentes, ea maximè tractamus, quæ ad gravitatem, levitatem, vim elaſticam, reſiſtentiam fluidorum & ejuſmodi vires ſeu attractivas ſeu impulſivas ſpectant: Et eâ propter, hæc noſtra tanquam philoſophiæ principia mathematica proponimus. Omnis enim philoſophiæ difficultas in eo verſari videtur, ut à phænomenis motuum inveſtigemus vires naturæ, deinde ab his viribus demonſtremus phænomena reliqua. Et huc ſpectant propoſitiones generales, quas libro primo & ſecundo pertractavimus. In libro autem tertio exemplum hujus rei propoſuimus per explicationem ſyſtematis mundani. Ibi enim, ex phænomenis cæleſtibus, per propoſitiones in libris prioribus mathematicè demonſtratas, derivantur vires gravitatis, quibus corpora ad ſolem & planetas ſingulos tendunt. Deinde ex his viribus per propoſitiones etiam mathematicas, deducuntur motus planetarum, cometarum, lunæ & maris. Utinam cætera naturæ phænomena ex principiis mechanicis eodem argumentandi genere derivare liceret. Nam multa me movent, ut nonnihil ſuſpicer ea omnia ex viribus quibuſdam pendere poſſe, quibus corporum particulæ per cauſas nondum cognitas vel in ſe mutuò impelluntur & ſecundum figuras regulares cohærent, vel ab invicem fugantur & recedunt: quibus viribus ignotis, philoſophi hactenus naturam fruſtrà tentarunt. Spero autem quod vel huic philoſophandi modo, vel veriori alicui, principia hîc poſita lucem aliquam præbebunt.*

In his edendis, vir acutiſſimus & in omni literarum genere eruditiſſimus Edmundus Halleius *operam navavit, nec ſolum typothetarum ſphalmata correxit & ſchemata incidi curavit, ſed etiam auctor fuit, ut horum editionem aggrederer. Quippe cùm demonſtratam à*

me

Digitized by Google

me figuram orbium cœleſtium impetraverat, rogare non deſtitit, ut eandem cum Societate Regali *communicarem, quæ deinde hortatibus & benignis ſuis auſpiciis effecit, ut de eâdem in lucem emittendâ cogitare inciperem. At poſtquam motuum lunarium inæqualitates aggreſſus eſſem, deinde etiam alia tentare cœpiſſem, quæ ad leges & menſuras gravitatis & aliarum virium, & figuras à corporibus ſecundum datas quaſcunque leges attractis deſcribendas, ad motus corporum plurium inter ſe, ad motus corporum in mediis reſiſtentibus, ad vires, denſitates & motus mediorum, ad orbes cometarum & ſimilia ſpectant, editionem in aliud tempus differendam eſſe putavi, ut cætera rimarer & unà in publicum darem. Quæ ad motus lunares ſpectant (imperfecta cùm ſint) in corollariis propoſitionis* LXVI. *ſimul complexus ſum, ne ſingula methodo prolixiore quàm pro rei dignitate proponere, & ſigillatim demonſtrare tenerer, & ſeriem reliquarum propoſitionum interrumpere. Nonnulla ſerò inventa locis minùs idoneis inſerere malui, quàm numerum propoſitionum & citationes mutare. Ut omnia candidè legantur & defectus in materiâ tam difficili non tam reprehendantur, quàm novis lectorum conatibus inveſtigentur, & benignè ſuppleantur, enixè rogo.*

Dabam *Cantabrigiæ*, è Collegio
S. Trinitatis, Maii 8. 1686.

IS. NEWTON.

Digitized by Google

AUCTORIS PRÆFATIO
IN
EDITIONEM SECUNDAM.

IN hâc ſecundâ Principiorum editione multa ſparſim emendantur, & nonnulla adjiciuntur. In libri primi ſectione II. *inventio virium, quibus corpora in orbibus datis revolvi poſſint, facilior redditur & amplior. In libri ſecundi ſectione* VII. *theoria reſiſtentiæ fluidorum accuratiùs inveſtigatur, & novis experimentis confirmatur. In libro tertio theoria lunæ & præceſſio æquinoctiorum ex principiis ſuis pleniùs deducuntur, & theoria cometarum pluribus & accuratiùs computatis orbium exemplis confirmatur.*

Dabam *Londini*,
Mar. 28. 1713.

IS. NEWTON.

EDI-

Digitized by Google

EDITORIS PRÆFATIO

IN

EDITIONEM SECUNDAM.

NEWTONIANÆ philoſophiæ novam tibi, lector benevole, diuque deſideratam editionem, plurimùm nunc emendatam atque auctiorem exhibemus. Quæ potiſſimum contineantur in hoc opere celeberrimo, intelligere potes ex indicibus adjectis: quæ vel addantur vel immutentur, ipſa te ferè docebit auctoris præfatio. Reliquum eſt, ut adjiciantur nonnulla de methodo hujus philoſophiæ.

Qui phyſicam tractandam ſuſceperunt, ad tres ferè claſſes revocari poſſunt. Extiterunt enim, qui ſingulis rerum ſpeciebus qualitates ſpecificas & occultas tribuerint; ex quibus deinde corporum ſingulorum operationes, ignotâ quâdam ratione, pendere voluerunt. In hoc poſita eſt ſumma doctrinæ ſcholaſticæ, ab *Ariſtotele* & Peripateticis derivatæ: Affirmant utique ſingulos effectus ex corporum ſingularibus naturis oriri; at unde ſint illæ naturæ non docent; nihil itaque docent. Cùmque toti ſint in rerum nominibus, non in ipſis rebus; ſermonem quendam philoſophicum cenſendi ſunt adinveniſſe, philoſophiam tradidiſſe non ſunt cenſendi.

Alii ergo melioris diligentiæ laudem conſequi ſperarunt rejectâ vocabulorum inutili farragine. Statuerunt itaque materiam univerſam homogeneam eſſe, omnem verò formarum varietatem, quæ in corporibus cernitur, ex particularum componentium ſimpliciſſimis quibuſdam & intellectu facillimis affectionibus oriri. Et rectè quidem progreſſio inſtituitur à ſimplicioribus ad magis compoſita, ſi particularum primariis illis affectionibus non alios tribuunt modos, quàm quos ipſa tribuit natura. Verùm ubi licentiam ſibi aſſumunt, ponendi quaſcunque libet ignotas partium figuras & magnitudines, incertoſque ſitus & motus; quin & fingendi fluida quædam occulta, quæ corporum poros liberrimè permeent, omnipotente prædi-

ta

ta ſubtilitate, motibuſque occultis agitata; jam ad ſomnia delabuntur, neglectâ rerum conſtitutione verâ: quæ ſanè fruſtra petenda eſt ex fallacibus conjecturis, cùm vix etiam per certiſſimas obſervationes inveſtigari poſſit. Qui ſpeculationum ſuarum fundamentum deſumunt ab hypotheſibus; etiamſi deinde ſecundum leges mechanicas accuratiſſimè procedant; fabulam quidem elegantem fortè & venuſtam, fabulam tamen concinnare dicendi ſunt.

Relinquitur adeo tertium genus, qui philoſophiam ſcilicet experimentalem profitentur. Hi quidem ex ſimpliciſſimis quibus poſſunt principiis rerum omnium cauſas derivandas eſſe volunt: nihil autem principii loco aſſumunt, quod nondum ex phænomenis comprobatum fuerit. Hypotheſes non comminiſcuntur, neque in phyſicam recipiunt, niſi ut quæſtiones de quarum veritate diſputetur. Duplici itaque methodo incedunt, analyticâ & ſyntheticâ. Naturæ vires legeſque virium ſimpliciores ex ſelectis quibuſdam phænomenis per analyſin deducunt, ex quibus deinde per ſyntheſim reliquorum conſtitutionem tradunt. Hæc illa eſt philoſophandi ratio longè optima, quam præ cæteris meritò amplectendum cenſuit celeberrimus auctor noſter. Hanc ſolam utique dignam judicavit, in quâ excolendâ atque adornandâ operam ſuam collocaret. Hujus igitur illuſtriſſimum dedit exemplum, mundani nempe ſyſtematis explicationem è theoriâ gravitatis feliciſſimè deductam. Gravitatis virtutem univerſis corporibus ineſſe, ſuſpicati ſunt vel finxerunt alii: primus ille & ſolus ex apparentiis demonſtrare potuit, & ſpeculationibus egregiis firmiſſimum ponere fundamentum.

Scio equidem nonnullos magni etiam nominis viros, præjudiciis quibuſdam plus æquo occupatos, huic novo principio ægrè aſſentiri potuiſſe, & certis incerta identidem prætuliſſe. Horum famam vellicare non eſt animus: tibi potius, benevole lector, illa paucis exponere lubet, ex quibus tute ipſe judicium non iniquum feras.

Igitur ut argumenti ſumatur exordium à ſimpliciſſimis & proximis; diſpiciamus paulisper qualis ſit in terreſtribus natura gravitatis, ut deinde tutiùs progrediamur ubi ad corpora cæleſtia, longiſſimè à ſedibus noſtris remota, perventum fuerit. Convenit jam inter omnes philoſophos, corpora univerſa circumterreſtria gravitare in terram. Nulla dari corpora verè levia, jamdudum confirmavit experientia

rientia multiplex. Quæ dicitur levitas relativa, non eſt vera levitas, ſed apparens ſolummodo; & oritur à præpollente gravitate corporum contiguorum.

Porrò, ut corpora univerſa gravitent in terram, ita terra viciſſim in corpora æqualiter gravitat; gravitatis enim actionem eſſe mutuam & utrinque æqualem, ſic oſtenditur. Diſtinguatur terræ totius moles in binas quaſcunque partes, vel æquales vel utcunque inæquales: jam ſi pondera partium non eſſent in ſe mutuò æqualia, cederet pondus minus majori, & partes conjunctæ pergerent rectà moveri ad infinitum, verſus plagam in quam tendit pondus majus: omninò contra experientiam. Itaque dicendum erit, pondera partium in æquilibrio eſſe conſtituta: hoc eſt, gravitatis actionem eſſe mutuam & utrinque æqualem.

Pondera corporum, æqualiter à centro terræ diſtantium, ſunt ut quantitates materiæ in corporibus. Hoc utique colligitur ex æquali acceleratione corporum omnium, è quiete per ponderum vires cadentium: nam vires quibus inæqualia corpora æqualiter accelerantur, debent eſſe proportionales quantitatibus materiæ movendæ. Jam verò corpora univerſa cadentia æqualiter accelerari, ex eo patet, quod in vacuo *Boyliano* temporibus æqualibus æqualia ſpatia cadendo deſcribunt, ſublatâ ſcilicet aëris reſiſtentiâ: accuratiùs autem comprobatur per experimenta pendulorum.

Vires attractivæ corporum, in æqualibus diſtantiis, ſunt ut quantitates materiæ in corporibus. Nam cùm corpora in terram & terra viciſſim in corpora momentis æqualibus gravitent; terræ pondus in unumquodque corpus, ſeu vis quâ corpus terram attrahit, æquabitur ponderi corporis ejuſdem in terram. Hoc autem pondus erit ut quantitas materiæ in corpore: itaque vis quâ corpus unumquodque terram attrahit, ſive corporis vis abſoluta, erit ut eadem quantitas materiæ.

Oritur ergo & componitur vis attractiva corporum integrorum ex viribus attractivis partium: ſiquidem auctâ vel diminutâ mole materiæ, oſtenſum eſt, proportionaliter augeri vel diminui ejus virtutem. Actio itaque telluris ex conjunctis partium actionibus conflari cenſenda erit; atque adeò corpora omnia terreſtria ſe mutuò trahere oportet viribus abſolutis, quæ ſint in ratione materiæ tra-

Digitized by Google

hentis. Hæc eſt natura gravitatis apud terram: videamus jam qualis ſit in cœlis.

Corpus omne perſeverare in ſtatu ſuo vel quieſcendi vel movendi uniformiter in directum, niſi quatenus à viribus impreſſis cogitur ſtatum illum mutare; naturæ lex eſt ab omnibus recepta philoſophis. Inde verò ſequitur, corpora quæ in curvis moventur, atque adeò de lineis rectis orbitas ſuas tangentibus jugiter abeunt, vi aliquâ perpetuò agente retineri in itinere curvilineo. Planetis igitur in orbibus curvis revolventibus neceſſariò aderit vis aliqua, per cujus actiones repetitas indeſinenter à tangentibus deflectantur.

Jam illud concedi æquum eſt, quod mathematicis rationibus colligitur & certiſſimè demonſtratur; corpora nempe omnia, quæ moventur in lineâ aliquâ curvâ in plano deſcriptâ, quæque radio ducto ad punctum vel quieſcens vel utcumque motum deſcribunt areas circa punctum illud temporibus proportionales, urgeri à viribus quæ ad idem punctum tendent. Cùm igitur in confeſſo ſit apud aſtronomos, planetas primarios circùm ſolem, ſecundarios verò circum ſuos primarios, areas deſcribere temporibus proportionales; conſequens eſt ut vis illa, quâ perpetuò detorquentur à tangentibus rectilineis & in orbitis curvilineis revolvi coguntur, verſus corpora dirigatur quæ ſita ſunt in orbitarum centris. Hæc itaque vis non ineptè vocari poteſt, reſpectu quidem corporis revolventis, centripeta; reſpectu autem corporis centralis, attractiva; à quâcunque demùm causâ oriri fingatur.

Quin & hæc quoque concedenda ſunt, & mathematicè demonſtrantur: Si corpora plura motu æquabili revolvantur in circulis concentricis, & quadrata temporum periodicorum ſint ut cubi diſtantiarum à centro communi; vires centripetas revolventium fore reciprocè ut quadrata diſtantiarum. Vel, ſi corpora revolvantur in orbitis quæ ſunt circulis finitimæ, & quieſcant orbitarum apſides; vires centripetas revolventium fore reciprocè ut quadrata diſtantiarum. Obtinere caſum alterutrum in planetis univerſis conſentiunt aſtronomi. Itaque vires centripetæ planetarum omnium ſunt reciprocè ut quadrata diſtantiarum ab orbium centris. Si quis objiciat planetarum, & lunæ præſertim, apſides non penitùs quieſcere; ſed motu quodam lento ferri in conſequentia: reſponderi poteſt,

Digitized by Google

poteſt, etiamſi concedamus hunc motum tardiſſimum exinde profectum eſſe quod vis centripetæ proportio aberret aliquantùm à duplicata; aberrationem illam per computum mathematicum inveniri poſſe & planè inſenſibilem eſſe. Ipſa enim ratio vis centripetæ lunaris, quæ omnium maximè turbari debet, paululum quidem duplicatam ſuperabit; ad hanc vero ſexaginta ferè vicibus propiùs accedet quàm ad triplicatam. Sed varior erit reſponſio, ſi dicamus hanc apſidum progreſſionem, non ex aberratione à duplicatâ proportione, ſed ex aliâ prorſus diversâ causâ oriri, quemadmodum egregiè commonſtratur in hac philoſophia. Reſtat ergo ut vires centripetæ, quibus planetæ primarii tendunt versùs ſolem & ſecundarii versùs primarios ſuos, ſint accuratè ut quadrata diſtantiarum reciprocè.

Ex iis quæ hactenus dicta ſunt, conſtat planetas in orbitis ſuis retineri per vim aliquam in ipſos perpetuò agentem: conſtat vim illam dirigi ſemper versùs orbitarum centra: conſtat hujus efficaciam augeri in acceſſu ad centrum, diminui in receſſu ab eodem: & augeri quidem in eadem proportione qua diminuitur quadratum diſtantiæ, diminui in eadem proportione quâ diſtantiæ quadratum augetur. Videamus jam, comparatione inſtitutâ inter planetarum vires centripetas & vim gravitatis, annon ejuſdem fortè ſint generis. Ejuſdem verò generis erunt, ſi deprehendantur hinc & inde leges eædem, eædemque affectiones. Primò itaque lunæ, quæ nobis proxima eſt, vim centripetam expendamus.

Spatia rectilinea, quæ à corporibus è quiete demiſſis dato tempore ſub ipſo motus initio deſcribuntur, ubi à viribus quibuſcunque urgentur, proportionalia ſunt ipſis viribus: hoc utique conſequitur ex ratiociniis mathematicis. Erit igitur vis centripeta lunæ in orbitâ ſuâ revolventis, ad vim gravitatis in ſuperficie terræ, ut ſpatium quod tempore quàm minimo deſcriberet luna deſcendendo per vim centripetam versùs terram, ſi circulari omni motu privari fingeretur ad ſpatium quod eodem tempore quàm minimo deſcribit grave corpus in vicinia terræ, per vim gravitatis ſuæ cadendo. Horum ſpatiorum prius æquale eſt arcûs à luna per idem tempus deſcripti ſinui verſo, quippe qui lunæ tranſlationem de tangente, factam à vi centripeta, metitur; atque adeò computari poteſt ex datis tùm lunæ tempore periodico, tùm diſtantia ejus à centro terræ. Spatium poſte-

Digitized by Google

rius invenitur per experimenta pendulorum, quemadmodùm docuit *Hugenius*. Inito itaque calculo, ſpatium prius ad ſpatium poſterius, ſeu vis centripeta lunæ in orbita ſua revolventis ad vim gravitatis in ſuperficie terræ, erit ut quadratum ſemidiametri terræ ad orbitæ ſemidiametri quadratum. Eandem habet rationem, per ea quæ ſuperiùs oſtenduntur, vis centripeta lunæ in orbita ſua revolventis ad vim lunæ centripetam propè terræ ſuperficiem. Vis itaque centripeta propè terræ ſuperficiem æqualis eſt vi gravitatis. Non ergo diverſæ ſunt vires, ſed una atque eadem; ſi enim diverſæ eſſent, corpora viribus conjunctis duplò celeriùs in terram caderent quàm ex vi ſolâ gravitatis. Conſtat igitur vim illam centripetam, quâ luna perpetuò de tangente vel trahitur vel impellitur & in orbita retinetur, ipſam eſſe vim gravitatis terreſtris ad lunam uſque pertingentem. Et rationi quidem conſentaneum eſt ut ad ingentes diſtantias illa ſeſe virtus extendat, cùm nullam ejus ſenſibilem imminutionem, vel in altiſſimis montium cacuminibus, obſervare licet. Gravitat itaque luna in terram: quin & actione mutua, terra viciſſim in lunam æqualiter gravitat: id quod abundè quidem confirmatur in hac philoſophiâ, ubi agitur de maris æſtu & æquinoctiorum præceſſione, ab actione tum lunæ tum ſolis in terram oriundis. Hinc & illud tandem edocemur, quâ nimirùm lege vis gravitatis decreſcat in majoribus à tellure diſtantiis. Nam cùm gravitas non diverſa ſit à vi centripeta lunari, hæc verò ſit reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ; diminuetur & gravitas in eadem ratione.

Progrediamur jam ad planetas reliquos. Quoniam revolutiones primariorum circa ſolem & ſecundariorum circa jovem & ſaturnum ſunt phænomena generis ejuſdem ac revolutio lunæ circa terram, quoniam porrò demonſtratum eſt vires centripetas primariorum dirigi versùs centrum ſolis, ſecundariorum versùs centra jovis & ſaturni, quemadmodum lunæ vis centripeta versùs terræ centrum dirigitur; adhæc, quoniam omnes illæ vires ſunt reciprocè ut quadrata diſtantiarum à centris, quemadmodum vis lunæ eſt ut quadratum diſtantiæ à terra: concludendum erit eandem eſſe naturam univerſis. Itaque ut luna gravitat in terram, & terra viciſſim in lunam; ſic etiam gravitabunt omnes ſecundarii in primarios ſuos, & primarii viciſſim in ſecundarios; ſic & omnes primarii in ſolem, & ſol viciſſim in primarios.

Igi-

Digitized by Google

Igitur ſol in planetas univerſos gravitat & univerſi in ſolem. Nam ſecundarii dum primarios ſuos comitantur, revolvuntur intereà circum ſolem unà cum primariis. Eodem itaque argumento, utriuſque generis planetæ gravitant in ſolem, & ſol in ipſos. Secundarios verò planetas in ſolem gravitare abundè inſuper conſtat ex inæqualitatibus lunaribus; quarum accuratiſſimam theoriam, admirandâ ſagacitate patefactam, in tertio hujus operis libro expoſitam habemus.

Solis virtutem attractivam quoquoverſum propagari ad ingentes uſque diſtantias, & ſeſe diffundere ad ſingulas circumjecti ſpatii partes, apertiſſimè colligi poteſt ex motu cometarum; qui ab immenſis intervallis profecti feruntur in viciniam ſolis, & nonnunquam adeò ad ipſum proximè accedunt, ut globum ejus, in periheliis ſuis verſantes, tantùm non contingere videantur. Horum theoriam ab aſtronomis antehac fruſtrà quæſitam, noſtro tandem ſæculo faciliter inventam & per obſervationes certiſſimè demonſtratam, præſtantiſſimo noſtro auctori debemus. Patet igitur cometas in ſectionibus conicis umbilicos in centro ſolis habentibus moveri, & radiis ad ſolem ductis areas temporibus proportionales deſcribere. Ex hiſce verò phænomenis manifeſtum eſt & mathematicè comprobatur, vires illas, quibus cometæ retinentur in orbitis ſuis, reſpicere ſolem & eſſe reciprocè ut quadrata diſtantiarum ab ipſius centro. Gravitant itaque cometæ in ſolem: atque adeò ſolis vis attractiva non tantùm ad corpora planetarum in datis diſtantiis & in eodem ferè plano collocata, ſed etiam ad cometas in diverſiſſimis cœlorum regionibus & in diverſiſſimis diſtantiis poſitos pertingit. Hæc igitur eſt natura corporum gravitantium, ut vires ſuas edant ad omnes diſtantias in omnia corpora gravitantia. Inde verò ſequitur, planetas & cometas univerſos ſe mutuò trahere, & in ſe mutuò graves eſſe: quod etiam confirmatur ex perturbatione jovis & ſaturni, aſtronomis non incognitâ, & ab actionibus horum planetarum in ſe invicem oriundâ; quin & ex motu illo lentiſſimo apſidum, qui ſuprà memoratus eſt, quique à cauſâ conſimili proficiſcitur.

Eo demùm pervenimus ut dicendum ſit, & terram & ſolem & corpora omnia cœleſtia, quæ ſolem comitantur, ſe mutuò attrahere. Singulorum ergo particulæ, quæque minimæ, vires ſuas attractivas habebunt, pro quantitate materiæ pollentes; quemadmodum ſu-

prà de terreſtribus oſtenſum eſt. In diverſis autem diſtantiis, erunt & harum vires in duplicata ratione diſtantiarum reciprocè: nam ex particulis hac lege trahentibus componi debere globos eadem lege trahentes, mathematicè demonſtratur.

Concluſiones præcedentes huic innituntur Axiomati, quod à nullis non recipitur philoſophis; effectuum ſcilicet ejuſdem generis, quorum nempe quæ cognoſcuntur proprietates eædem ſunt, eaſdem eſſe cauſas & eaſdem eſſe proprietates quæ nondùm cognoſcuntur. Quis enim dubitat, ſi gravitas ſit cauſa deſcenſûs lapidis in *Europa*, quin eadem ſit cauſa deſcenſûs in *America*? Si gravitas mutua fuerit inter lapidem & terram in *Europa*, quis negabit mutuam eſſe in *America*? Si vis attractiva lapidis & terræ componatur, in *Europa*, ex viribus attractivis partium, quis negabit ſimilem eſſe compoſitionem in *America*? Si attractio terræ ad omnia corporum genera & ad omnes diſtantias propagetur in *Europa*, quidni pariter propagari dicamus in *America*? In hac regula fundatur omnis philoſophia: quippe quâ ſublatâ nihil affirmare poſſimus de univerſis. Conſtitutio rerum ſingularum innoteſcit per obſervationes & experimenta: inde verò non niſi per hanc regulam de rerum univerſarum naturâ judicamus.

Jam cùm gravia ſint omnia corpora, quæ apud terram vel in cœlis reperiuntur, de quibus experimenta vel obſervationes inſtituere licet; omninò dicendum erit, gravitatem corporibus univerſis competere. Et quemadmodum nulla concipi debent corpora, quæ non ſint extenſa, mobilia & impenetrabilia; ita nulla concipi debere, quæ non ſint gravia. Corporum extenſio, mobilitas, & impenetrabilitas non niſi per experimenta, innoteſcunt; eodem planè modo gravitas innoteſcit. Corpora omnia de quibus obſervationes habemus, extenſa ſunt & mobilia & impenetrabilia: & inde concludimus corpora univerſa, etiam illa de quibus obſervationes non habemus, extenſa eſſe & mobilia & impenetrabilia. Ita corpora omnia ſunt gravia, de quibus obſervationes habemus: & inde concludimus corpora univerſa, etiam illa de quibus obſervationes non habemus, gravia eſſe. Si quis dicat corpora ſtellarum inerrantium non eſſe gravia, quandoquidem eorum gravitas nondum eſt obſervata; eodem argumento dicere licebit neque extenſa eſſe, nec mobilia, nec impene-

Digitized by Google

penetrabilia; cùm hæ fixarum affectiones nondum ſint obſervatæ. Quid opus eſt verbis? inter primarias qualitates corporum univerſorum vel gravitas habebit locum; vel extenſio, mobilitas, & impenetrabilitas non habebunt. Et natura rerum vel rectè explicabitur per corporum gravitatem, vel non rectè explicabitur per corporum extenſionem, mobilitatem, & impenetrabilitatem.

Audio nonnullos hanc improbare concluſionem, & de occultis qualitatibus neſcio quid muſſitare. Gravitatem ſcilicet occultum eſſe quid, perpetuò argutari ſolent; occultas verò cauſas procul eſſe ablegandas à philoſophiâ. His autem facilè reſpondetur; occultas eſſe cauſas, non illas quidem quarum exiſtentia per obſervationes clariſſimè demonſtratur, ſed has ſolùm quarum occulta eſt & ficta exiſtentia, nondùm verò comprobata. Gravitas ergo non erit occulta cauſa motuum cœleſtium; ſiquidem ex phænomenis oſtenſum eſt, hanc virtutem reverà exiſtere. Hi potius ad occultas confugiunt cauſas, qui neſcio quos vortices, materiæ cujuſdam prorsùs fictitiæ & ſenſibus omninò ignotæ, motibus iiſdem regendis præficiunt.

Ideone autem gravitas occulta cauſa dicetur, eoque nomine rejicietur è philoſophiâ, quod cauſa ipſius gravitatis occulta eſt & nondum inventa? Qui ſic ſtatuunt, videant nequid ſtatuant abſurdi, unde totius tandem philoſophiæ fundamenta convellantur. Etenim cauſæ continuo nexu procedere ſolent à compoſitis ad ſimpliciora: ubi ad cauſam ſimpliciſſimam perveneris, jam non licebit ulteriùs progredi. Cauſæ igitur ſimpliciſſimæ nulla dari poteſt mechanica explicatio: ſi daretur enim, cauſa nondum eſſet ſimpliciſſima. Has tu proinde cauſas ſimpliciſſimas appellabis occultas, & exulare jubebis? Simul verò exulabunt & ab his proximè pendentes & quæ ab illis porrò pendent, uſque dum à cauſis omnibus vacua fuerit & probè purgata philoſophia.

Sunt qui gravitatem præter naturam eſſe dicunt, & miraculum perpetuum vocant. Itaque rejiciendam eſſe volunt, cùm in phyſicâ præternaturales cauſæ locum non habeant. Huic ineptæ prorſus objectioni diluendæ, quæ & ipſa philoſophiam ſubruit univerſam, vix operæ pretium eſt immorari. Vel enim gravitatem corporibus omnibus inditam eſſe negabunt: quod tamen dici non poteſt: vel

eo

eo nomine præter naturam eſſe affirmabunt, quod ex aliis corporum affectionibus atque ideò ex cauſis mechanicis originem non habeat. Dantur certè primariæ corporum affectiones; quæ quoniam ſunt primariæ, non pendent ab aliis. Viderint igitur annon & hæ omnes ſint pariter præter naturam, eoque pariter rejiciendæ: viderint verò qualis ſit deinde futura philoſophia.

Nonnulli ſunt quibus hæc tota phyſica cœleſtis vel ideò minùs placet, quòd cum *Carteſii* dogmatibus pugnare & vix conciliari poſſe videatur. His ſuâ licebit opinione frui; ex æquo autem agant oportet: non ergo denegabunt aliis eandem libertatem quam ſibi concedi poſtulant. Newtonianam itaque philoſophiam, quæ nobis verior habetur, retinere & amplecti licebit, & cauſas ſequi per phænomena comprobatas, potiùs quàm fictas & nondum comprobatas. Ad veram philoſophiam pertinet, rerum naturas ex cauſis verè exiſtentibus derivare: eas verò leges quærere, quibus voluit ſummus opifex hunc mundi pulcherrimum ordinem ſtabilire; non eas quibus potuit, ſi ita viſum fuiſſet. Rationi enim conſonum eſt, ut à pluribus cauſis, ab invicem nonnihil diverſis, idem poſſit effectus proficiſci: hæc autem vera erit cauſa, ex qua verè atque actu proficiſcitur; reliquæ locum non habent in philoſophiâ verâ. In horologiis automatis idem indicis horarii motus vel ab appenſo pondere vel ab intus concluſo elatere oriri poteſt. Quod ſi oblatum horologium reverà ſit inſtructum pondere; ridebitur qui finget elaterem, & ex hypotheſi ſic præproperè confictâ motum indicis explicare ſuſcipiet: oportuit enim internam machinæ fabricam penitiùs perſcrutari, ut ita motûs propoſiti principium verum exploratum habere poſſet. Idem vel non abſimile feretur judicium de philoſophis illis, qui materiâ quâdam ſubtiliſſimâ cœlos eſſe repletos, hanc autem in vortices indeſinenter agi voluerunt. Nam à phænomenis vel accuratiſſimè ſatisfacere poſſent ex hypotheſibus ſuis; veram tamen philoſophiam tradidiſſe, & veras cauſas motuum cæleſtium inveniſſe nondum dicendi ſunt; niſi vel has reverà exiſtere, vel ſaltem alias non exiſtere demonſtraverint. Igitur ſi oſtenſum fuerit, univerſorum corporum attractionem habere verum locum in rerum naturâ; quinetiam oſtenſum fuerit, quâ ratione motus omnes cæleſtes abinde ſolutionem recipiant; vana fuerit & meritò deridenda objectio,

Digitized by Google

objectio, ſi quis dixerit eoſdem motus per vortices explicari debere, etiamſi id fieri poſſe vel maximè conceſſerimus. Non autem concedimus: nequeunt enim illo pacto phænomena per vortices explicari; quod ab auctore noſtro abundè quidem & clariſſimis rationibus evincitur; ut ſomnis plùs æquò indulgeant oporteat, qui ineptiſſimo figmento reſarciendo, noviſque porrò commentis ornando infelicem operam addicunt.

Si corpora planetarum & cometarum circa ſolem deferantur è vorticibus, oportet corpora delata & vorticum partes proximè ambientes eadem velocitate eademque curſûs determinatione moveri, & eandem habere denſitatem vel eandem vim inertiæ pro mole materiæ. Conſtat verò planetas & cometas, dùm verſantur in iiſdem regionibus cœlorum, velocitatibus variis variâque curſûs determinatione moveri. Neceſſariò itaque ſequitur, ut fluidi cœleſtis partes illæ, quæ ſunt ad eaſdem diſtantias à ſole, revolvantur eodem tempore in plagas diverſas cum diverſis velocitatibus: etenim aliâ opus erit directione & velocitate, ut tranſire poſſint planetæ; aliâ, ut tranſire poſſint cometæ. Quod cùm explicari nequeat; vel fatendum erit, univerſa corpora cœleſtia non deferri à materia vorticis; vel dicendum erit, eorundem motus repetendos eſſe non ab uno eodemque vortice, ſed à pluribus qui ab invicem diverſi ſint, idemque ſpatium ſoli circumjectum pervadant.

Si plures vortices in eodem ſpatio contineri, & ſeſe mutuò penetrare motibuſque diverſis revolvi ponantur; quoniam hi motus debent eſſe conformes delatorum corporum motibus, qui ſunt ſummè regulares, & peraguntur in ſectionibus conicis nunc valdè eccentricis, nunc ad circulorum proximè formam accedentibus; jure quærendum erit, quî fieri poſſit, ut iidem integri conſerventur, nec ab actionibus materiæ occurſantis per tot ſæcula quicquam perturbentur. Sanè ſi motus hi fictitii ſunt magis compoſiti & difficiliùs explicantur, quàm veri illi motus planetarum & cometarum; fruſtrà mihi videntur in philoſophiam recipi: omnis enim cauſa debet eſſe effectu ſuo ſimplicior. Conceſſa fabularum licentia, affirmaverit aliquis planetas omnes & cometas circumcingi atmoſphæris, ad inſtar telluris noſtræ; quæ quidem hypotheſis rationi magis conſentanea

videbitur quam hypotheſis vorticum. Affirmaverit deinde has atmoſphæras, ex naturâ ſuâ, circa ſolem moveri & ſectiones conicas deſcribere; qui ſanè motus multò faciliùs concipi poteſt, quàm conſimilis motus vorticum ſe invicem permeantium. Denique planetas ipſos & cometas circa ſolem deferri ab atmoſphæris ſuis credendum eſſe ſtatuat, & ob repertas motuum cœleſtium cauſas triumphum agat. Quiſquis autem hanc fabulam rejiciendam eſſe putet, idem & alteram fabulam rejiciet: nam ovum non eſt ovo ſimilius, quàm hypotheſis atmoſphærarum hypotheſi vorticum.

Docuit *Galilæus*, lapidis projecti & in parabolâ moti deflectionem à curſu rectilineo oriri à gravitate lapidis in terram, ab occulta ſcilicet qualitate. Fieri tamen poteſt ut alius aliquis, naſi acutioris philoſophus, cauſam aliam comminiſcatur. Finget igitur ille materiam quandam ſubtilem, quæ nec viſu, nec tactu, neque ullo ſenſu percipitur, verſari in regionibus quæ proximè contingunt telluris ſuperficiem. Hanc autem materiam, in diverſas plagas, variis & plerumque contrariis motibus ferri, & lineas parabolicas deſcribere contendet. Deinde vero lapidis deflectionem pulchrè ſic expediet, & vulgi plauſum merebitur. Lapis, inquit, in fluido illo ſubtili natat, & curſui ejus obſequendo, non poteſt non eandem unà ſemitam deſcribere. Fluidum verò movetur in lineis parabolicis; ergo lapidem in parabola moveri neceſſe eſt. Quis nunc non mirabitur acutiſſimum hujuſce philoſophi ingenium, ex cauſis mechanicis, materiâ ſcilicet & motu, phænomena naturæ ad vulgi etiam captum præclarè deducentis? Quis verò non ſubſannabit bonum illum *Galilæum*, qui magno molimine mathematico qualitates occultas, è philoſophia feliciter excluſas, denuò revocare ſuſtinuerit? Sed pudet nugis diutiùs immorari.

Summa rei huc tandem redit: cometarum ingens eſt numerus; motus eorum ſunt ſummè regulares, & eaſdem leges cum planetarum motibus obſervant. Moventur in orbibus conicis, hi orbes ſunt valdè admodum eccentrici. Feruntur undique in omnes cœlorum partes, & planetarum regiones liberrimè pertranſeunt, & ſæpè contra ſignorum ordinem incedunt. Hæc phænomena certiſſimè confirmantur ex obſervationibus aſtronomicis: & per vortices nequeunt explicari. Imò, ne quidem cum vorticibus planetarum conſiſtere poſſunt. Cometarum

Digitized by Google

metarum motibus omninò locus non erit; niſi materia illa fictitia penitus è cœlis amoveatur.

Si enim planetæ circùm ſolem à vorticibus devehuntur; vorticum partes, quæ proximè ambiunt unumquemque planetam, ejuſdem denſitatis erunt ac planeta; uti ſuprà dictum eſt. Itaque materia illa omnis quæ contigua eſt orbis magni perimetro, parem habebit ac tellus denſitatem: quæ verò jacet intrà orbem magnum atque orbem ſaturni, vel parem vel majorem habebit. Nam ut conſtitutio vorticis permanere poſſit, debent partes minùs denſæ centrum occupare, magis denſæ longiùs à centro abire. Cum enim planetarum tempora periodica ſint in ratione ſeſquiplicata diſtantiarum à ſole, oportet partium vorticis periodos eandem rationem ſervare. Inde verò ſequitur, vires centrifugas harum partium fore reciprocè ut quadrata diſtantiarum. Quæ igitur majore intervallo diſtant à centro, nituntur ab eodem recedere minore vi: unde ſi minùs denſæ fuerint, neceſſe eſt ut cedant vi majori, quâ partes centro propiores aſcendere conantur. Aſcendent ergo denſiores, deſcendent minus denſæ, & locorum fiet invicem permutatio; donec ita fuerit diſpoſita atque ordinata materia fluida totius vorticis, ut conquieſcere jam poſſit in æquilibrio conſtituta. Si bina fluida, quorum diverſa eſt denſitas, in eodem vaſe continentur; utique futurum eſt ut fluidum, cujus major eſt denſitas, majore vi gravitatis infimum petat locum: & ratione non abſimili omninò dicendum eſt, denſiores vorticis partes majore vi centrifugâ petere ſupremum locum. Tota igitur illa & multò maxima pars vorticis, quæ jacet extrà telluris orbem, denſitatem habebit atque adeò vim inertiæ pro mole materiæ, quæ non minor erit quàm denſitas & vis inertiæ telluris: inde verò cometis trajectis orietur ingens reſiſtentia, & valde admodum ſenſibilis; ne dicam, quæ motum eorundem penitùs ſiſtere atque abſorbere poſſe meritò videatur. Conſtat autem ex motu cometarum prorſùs regulari, nullam ipſos reſiſtentiam pati quæ vel minimùm ſentiri poteſt; atque adeò neutiquam in materiam ullam incurſare, cujus aliqua ſit vis reſiſtendi, vel proinde cujus aliqua ſit denſitas ſeu vis inertiæ. Nam reſiſtentia mediorum oritur vel ab inertia materiæ fluidæ, vel à defectu lubricitatis. Quæ oritur à defectu lubricitatis, admodum exigua eſt; & ſanè vix obſervari poteſt in fluidis vulgò notis, niſi valdè

tenacia fuerint ad inſtar olei & mellis. Reſiſtentia quæ ſentitur in aëre, aqua, hydrargyro, & hujuſmodi fluidis non tenacibus, ferè tota eſt prioris generis, & minui non poteſt per ulteriorem quemcunque gradum ſubtilitatis, manente fluidi denſitate vel vi inertiæ, cui ſemper proportionalis eſt hæc reſiſtentia; quemadmodum clariſſimè demonſtratum eſt ab auctore noſtro in peregregiâ reſiſtentiarum theoriâ, quæ paulò nunc accuratiùs exponitur, hac ſecundâ vice, & per experimenta corporum cadentium pleniùs confirmatur.

Corpora progrediendo motum ſuum fluido ambienti paulatim communicant, & communicando amittunt, amittendo autem retardantur. Eſt itaque retardatio motui communicato proportionalis; motus verò communicatus, ubi datur corporis progredientis velocitas, eſt ut fluidi denſitas; ergo retardatio ſeu reſiſtentia erit ut eadem fluidi denſitas; neque ullo pacto tolli poteſt, niſi à fluido ad partes corporis poſticas recurrente reſtituatur motus amiſſus. Hoc autem dici non poterit, niſi impreſſio fluidi in corpus ad partes poſticas æqualis fuerit impreſſioni corporis in fluidum ad partes anticas, hoc eſt, niſi velocitas relativa quâ fluidum irruit in corpus à tergo, æqualis fuerit velocitati quâ corpus irruit in fluidum, id eſt, niſi velocitas abſoluta fluidi recurrentis duplo major fuerit quàm velocitas abſoluta fluidi propulſi; quod fieri nequit. Nullo igitur modo tolli poteſt fluidorum reſiſtentia, quæ oritur ab eorundem denſitate & vi inertiæ. Itaque concludendum erit, fluidi cœleſtis nullam eſſe vim inertiæ, cùm nulla ſit vis reſiſtendi: nullam eſſe vim quâ motus communicetur, cùm nulla ſit vis inertiæ: nullam eſſe vim quâ mutatio quælibet vel corporibus ſingulis, vel pluribus inducatur, cùm nulla ſit vis quâ motus communicetur; nullam eſſe omninò efficaciam, cum nulla ſit facultas mutationem quamlibet inducendi. Quidni ergo hanc hypotheſin, quæ fundamento planè deſtituitur, quæque naturæ rerum explicandæ ne minimùm quidem inſervit, ineptiſſimam vocare liceat & philoſopho prorsùs indignam. Qui cœlos materiâ fluidâ repletos eſſe volunt, hanc verò non inertem eſſe ſtatuunt; hi verbis tollunt vacuum, re ponunt. Nam cum hujuſmodi materia fluida ratione nullâ ſecerni poſſit ab inani ſpatio; diſputatio tota ſit de rerum nominibus, non de naturis. Quod ſi aliqui ſint adeò uſque dediti materiæ, ut ſpatium à corporibus vacuum nullo pacto admittendum

dum credere velint; videamus quo tandem oporteat illo pervenire.

Vel enim dicent hanc, quam confingunt, mundi per omnia pleni conſtitutionem ex voluntate Dei profectam eſſe, propter eum finem, ut operationibus naturæ ſubſidium præſens haberi poſſet ab æthere ſubtiliſſimo cuncta permeante & implente; quod tamen dici non poteſt, ſiquidem jam oſtenſum eſt ex cometarum phænomenis, nullam eſſe hujus ætheris efficaciam: vel dicent ex voluntate Dei profectam eſſe, propter finem aliquem ignotum; quod neque dici debet, ſiquidem diverſa mundi conſtitutio eodem argumento pariter ſtabiliri poſſet: vel denique non dicent ex voluntate Dei profectam eſſe, ſed ex neceſſitate quâdam naturæ. Tandem igitur delabi oportet in fæces ſordidas gregis impuriſſimi. Hi ſunt qui ſomniant fato univerſa regi, non providentiâ; materiam ex neceſſitate ſuâ ſemper & ubique extitiſſe, infinitam eſſe & æternam. Quibus poſitis; erit etiam undiquaque uniformis: nam varietas formarum cum neceſſitate omninò pugnat. Erit etiam immota: nam ſi neceſſariò moveatur in plagam aliquam determinatam, cum determinata aliqua velocitate, pari neceſſitate movebitur in plagam diverſam cum diverſa velocitate; in plagas autem diverſas, cum diverſis velocitatibus, moveri non poteſt; oportet igitur immotam eſſe. Neutiquam profectò potuit oriri mundus, pulcherrimâ formarum & motuum varietate diſtinctus, niſi ex liberrimâ voluntate cuncta providentis & gubernantis Dei.

Ex hoc igitur fonte promanarunt illæ omnes quæ dicuntur naturæ leges: in quibus multa ſanè ſapientiſſimi conſilii, nulla neceſſitatis apparent veſtigia. Has proinde non ab incertis conjecturis petere, ſed obſervando atque experiendo addiſcere debemus. Qui veræ phyſicæ principia legeſque rerum, ſola mentis vi & interno rationis lumine fretum, invenire ſe poſſe confidit; hunc oportet vel ſtatuere mundum ex neceſſitate fuiſſe, legeſque propoſitas ex eadem neceſſitate ſequi; vel ſi per voluntatem Dei conſtitutus ſit ordo naturæ, ſe tamen, homuncionem miſellum, quid optimum factu ſit perſpectum habere. Sana omnis & vera Philoſophia fundatur in phænomenis rerum: quæ ſi nos vel invitos & reluctantes ad hujuſmodi principia deducunt, in quibus clariſſimè cernuntur conſilium optimum & dominium ſummum ſapientiſſimi & potentiſſimi entis; non erunt hæc ideò non admittenda principia, quod quibuſdam forſan hominibus minus grata ſunt futura,

Digitized by Google

tura. His vel miracula vel qualitates occultæ dicantur, quæ diſplicent: verum nomina malitioſè indita non ſunt ipſis rebus vitio vertenda; niſi illud fateri tandem velint, utique debere philoſophiam in atheiſmo fundari. Horum hominum gratiâ non erit labefactanda philoſophia, ſiquidem rerum ordo non vult immutari.

Obtinebit igitur apud probos & æquos judices præſtantiſſima philoſophandi ratio, quæ fundatur in experimentis & obſervationibus. Huic verò, dici vix poterit, quanta lux accedat, quanta dignitas, ab hoc opere præclaro illuſtriſſimi noſtri auctoris; cujus eximiam ingenii felicitatem, difficillima quæque problemata enodantis, & ad ea porrò pertingentis ad quæ nec ſpes erat humanam mentem aſſurgere potuiſſe, meritò admirantur & ſuſpiciunt quicunque paulò profundius in hiſce rebus verſati ſunt. Clauſtris ergò reſeratis, aditum nobis aperuit ad pulcherrima rerum myſteria. Syſtematis mundani compagem elegantiſſimam ita tandem patefecit & penitius perſpectandam dedit, ut nec ipſe, ſi nunc reviviſceret, rex *Alphonſus* vel ſimplicitatem vel harmoniæ gratiam in ea deſideraret. Itaque naturæ majeſtatem propiùs jam licet intueri, & dulciſſima contemplatione frui, conditorem verò ac dominum univerſorum impenſiùs colere & venerari, qui fructus eſt philoſophiæ multò ubertimus. Cæcum eſſe oportet, qui ex optimis & ſapientiſſimis rerum ſtructuris non ſtatim videat fabricatoris omnipotentis infinitam ſapientiam & bonitatem: inſanum, qui profiteri nolit.

Extabit igitur eximium Newtoni opus adverſus atheorum impetus munitiſſimum præſidium: neque enim alicundè feliciùs, quàm ex hac pharetra, contra impiam catervam tela depromſeris. Hoc ſenſit pridem, & in pereruditis concionibus anglicè latinèque editis, primus egregiè demonſtravit vir in omni literarum genere præclarus, idemque bonarum artium fautor eximius Richardus Bentleius, ſeculi ſui & Academiæ noſtræ magnum ornamentum, Collegii noſtri *S. Trinitatis* magiſter digniſſimus & integerrimus. Huic ego me pluribus nominibus obſtrictum fateri debeo: huic & tuas quæ debentur gratias, lector benevole, non denegabis. Is enim, cum à longo tempore celeberrimi auctoris amicitiâ intimâ frueretur, (qua etiam apud poſteros cenſeri non minoris æſtimat, quàm propriis ſcriptis, quæ literato orbi in deliciis ſunt, incloreſcere) amici

ci

ci ſimul famæ & ſcientiarum incremento conſuluit. Itaque cum exemplaria prioris editionis rariſſima admodum & immani pretio coëmenda ſupereſſent; ſuaſit ille crebris efflagitationibus, & tantum non objurgando perpulit denique virum præſtantiſſimum, nec modeſtiâ minùs quàm eruditione ſummâ inſignem, ut novam hanc operis editionem, per omnia elimatam denuò & egregiis inſuper acceſſionibus ditatam, ſuis ſumptibus & auſpiciis prodire pateretur: mihi verò, pro jure ſuo, penſum non ingratum demandavit, ut quam poſſet emendatè id fieri curarem.

Cantabrigiæ,
Maii 12. 1713.

Rogerus Cotes Collegii *S. Trinitatis* ſocius, aſtronomiæ & philoſophiæ experimentalis profeſſor *Plumianus*.

AUC-

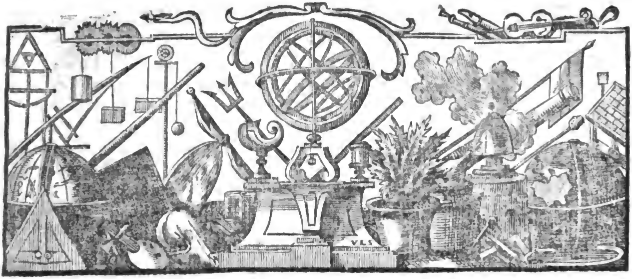
AUCTORIS PRÆFATIO
IN
EDITIONEM TERTIAM.

IN *editione hacce tertiâ, quam* Henricus Pemberton M. D. *vir harum rerum peritiſſimus curavit, nonnulla in libro ſecundo de reſiſtentia mediorum paulò fuſiùs explicantur quàm anteà, & adduntur experimenta nova de reſiſtentia gravium quæ cadunt in aëre. In libro tertio argumentum quo lunam in orbe ſuo per gravitatem retineri probatur, paulò fuſiùs exponitur: & novæ adduntur obſervationes de proportione diametrorum Jovis ad invicem à D.* Poundio *factæ. Adduntur etiam obſervationes aliquot cometæ illius qui anno* 1680. *apparuit, à D.* Kirk *menſe Novembri in* Germania *habitæ, quæ nuper ad manus noſtras venerunt, & quarum ope conſtet quàm propè orbes parabolici motibus cometarum reſpondent. Et orbita cometæ illius, computante* Halleio, *paulò accuratiùs determinatur quàm anteà, idque in ellipſi. Et oſtenditur cometam in hac orbita elliptica, per novem cælorum ſigna, non minùs accuratè curſum peregiſſe, quàm ſolent planetæ in orbitis ellipticis per aſtronomiam definitis moveri. Orbis etiam cometæ qui anno* 1723. *apparuit, à D.* Bradleio *Aſtronomiæ apud* Oxonienſes *Profeſſore computatus adjicitur.*

IS. NEWTON.

Dabam *Londini*
Jan. 12. 1725-6

Digitized by Google



PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA.

DEFINITIONES.

DEFINITIO I. ([a])

Quantitas Materiæ eſt menſura ejuſdem orta ex illius Denſitate & Magnitudine conjunctim.

AER, denſitate duplicata, in ſpatio etiam duplicato fit quadruplus; in triplicato ſextuplus. Idem intellige de Nive & Pulveribus per compreſſionem vel liquefac-

Licet primæ definitiones NEWTONIANÆ *vix aliquam poſtulare videantur explicationem; in ipſo tamen operis noſtri limine, nonnulla levioris momenti præmittenda judicamus, quæ ad majora viam ſternunt. Prima quæ in poſterium ſæpiùs recurrent Mechanices principia interſerere non abs re erit, tùm ut Lectorum labori parcamus, tùm ut magis continua ſervetur noſtrarum demonſtrationum ſeries.*

([a]) 1. Materia eſt ſubſtantia trinâ dimenſione prædita, ſolida ſeu impenetrabilis, mobilis, diviſibilis. Spatium purum eſt illa immenſa, penetrabilis, ſui

DEFINITIONES.

tionem condenſatis. Et par eſt ratio corporum omnium, quæ per cauſas quaſcunque diverſimodè condenſantur. Medii interea, ſi quod fuerit, interſtitia partium liberè pervadentis, hîc nullam rationem habeo. Hanc autem Quantitatem ſub nomine Corporis vel Maſſæ in ſequentibus paſſim intelligo. Innoteſcit ea per corporis cujuſque Pondus. Nam (b) Ponderi proportionalem eſſe reperi per experimenta Pendulorum accuratiſſimè inſtituta, uti poſthac docebitur.

D E-

ubique ſimilis, immobilis extenſio, in quâ corpora omnia liberrimè moveri intelligimus. In corpore dato materiæ quantitatem ſeu maſſam, à corporis magnitudine, aut volumine ſeu mole diſtingui oportet. Materiæ quantitas eſt aggregatum, ſeu ſumma omnium materiæ particularum quibus compoſitum eſt corpus. Volumen, ſeu Magnitudo, eſt tota trina dimenſio ſub exteriori corporis ſuperficie contenta. Porrò inter ſolidas ſeu impenetrabiles corporis particulas ſive elementa, plura eſſe poſſunt diſſeminata foramina ſeu pori, vel omni materiâ vacui, vel quos aliena materia liberè pervadat; ſic aër ſubtilior ſpongiæ poros permeat, & ad ſpongiæ materiam non pertinet. Si nulla ſint inter ſolidas corporis partes admixta foramina, Maſſa & volumen non differunt; at ſi poris pertuſum ſit corpus, Maſſam volumen ſuperat.

2. Denſitas eſt ratio maſſæ corporis ad illius volumen; adeò ut ſub æqualibus voluminibus, denſitates ſint in ratione directâ maſſarum; & eâdem ſeu æquali manente in diverſis corporibus maſsâ, denſitates ſint in ratione voluminum reciprocâ. Itaque ſi denſitas dicatur D; maſſa M, volumen V; erit $D = M : V$; ſeu denſitas exponi poteſt per maſſam ad volumen applicatam, ſive, quod idem eſt, denſitas erit ut maſſa per volumen diviſa. Si itaque D & M : V, per V multiplicemur, erit $DV = M$, ſeu maſſa aut quantitas materiæ eſt ut denſitas in volumen ducta; Maſſa igitur exponi poteſt per factum ex denſitate in volumen. Quare ſi D V & M, per D dividantur, erit $V = M : D$, ſeu volumen eſt ut maſſa ad denſitatem applicata, ſive volumen eſt in ratione compoſitâ ex directâ ratione maſſæ & inversâ denſitatis. Si denſitates fuerint æquales, ſeu ſi $m : v = M : V$, patet maſſas eſſe inter ſe ut volumina directè. His poſitis facilè intelligitur maſſam aëris, denſitate duplicatâ, in ſpatio etiam duplicato fieri quadruplam, nam ob duplicatam denſitatem in eodem ſpatio dupla eſt maſſa; ergò duplicato etiam ſpatio maſſa rurſus duplicatur & fit quadrupla.

(b) 3. Maſſam eſſe ponderi proportionalem, ob frequentiſſimum hujuſce veritatis uſum, hîc breviter oſtendimus. Gravia omnia, ut notiſſimis conſtat experimentis, per lineas ad terræ ſuperficiem perpendiculares ac proindè ad ſenſum parallelas deſcendunt, & in tubis aëre vacuis plumbum leviſſimaque pluma eâdem celeritate cadunt, ſeu æqualia ſpatia, æqualibus temporibus cadendo percurrunt. Nec ſucceſſu caret experimentum, etiamſi coarctatis ac diductis poris vel ſuperficiebus, corporis figura mutetur; dummodò eadem remaneat maſſa, idem ſemper ſervatur pondus; ex quo ſequitur gravitatem non ſolùm exterioribus corporis partibus, ſed & interioribus æque ineſſe; alioquin ejuſdem corporis ſub diverſis ſuperficiebus, idem non remaneret pondus, nec eadem foret ſub diverſis figuris celeritas; mutatâ enim ſuperficie, partes quæ antè interiores erant, exteriores fiunt & viceverſa; æqualia igitur maſſæ elementa æquali urgentur vi gravitatis, ſeu æqualis ſunt ponderis; creſcit ergò totius maſſæ pondus ut elementorum æqualium numerus, ſeu creſcit pondus ut maſſa, ſive maſſa eſt ponderi proportionalis.

Digitized by Google

DEFINITIO II. (c)

Quantitas Motus eſt menſura ejuſdem orta ex Velocitate & Quantitate Materiæ conjunctim.

Motus totius eſt ſumma motuum in partibus ſingulis; ideo-

A 2 que

(c) 4. Locus corporis eſt pars ſpatii, quam corpus occupat. Motus eſt continua loci mutatio. Tria in motu conſideranda ſunt, corpus quod movetur ſeu mobile, ſpatium quod percurritur, & tempus quo percurritur. Spatium percurſum eſt linea quam mobile inſtar puncti conſideratum deſcribere intelligitur. Directio motûs eſt linea recta quam mobile deſcribit aut deſcribere nititur. Motus conſpirantes ſunt quorum directiones congruunt, aut ſaltem ſunt parallelæ & ad eaſdem partes tendunt. Motus contrarii ſeu directè oppoſiti dicuntur quorum directiones congruunt quidem, aut ſaltem ſunt parallelæ, ſed in oppoſitas partes vergunt. Motus æquabilis ſeu uniformis eſt, quo mobile æqualia ſpatia æqualibus temporibus percurrit. Motus acceleratus, quo mobile majora continuò ſpatia æqualibus temporibus deſcribit. Motus retardatus quo mobile per minora continuò ſpatia æqualibus temporibus fertur.

5. Celeritas ſeu velocitas, eſt ea corporis moti affectio quâ aptum redditur, datum ſpatium dato tempore æquabiliter percurrendi. Eſt igitur celeritatis menſura in motu æquabili quærenda, ſeu, ut habeatur quantitas velocitati proportionalis, quærendum eſt ſpatium quod corpus dato tempore percurreret, ſi illius motus conſtans atque æquabilis permaneret. Porrò manifeſtum eſt celeritatem eſſe duplam, triplam, ſi temporibus æqualibus duplum, vel triplum percurratur ſpatium; & contrà celeritatem eſſe ſubduplam, ſubtriplam, ſi æqualia ſpatia, duplo, triplo tempore percurrantur; ergò manentibus temporibus, celeritates ſunt ut ſpatia; & manentibus ſpatiis, celeritates ſunt inversè ut tempora; quare variantibus temporibus atque ſpatiis, celeritates ſemper erunt in ratione compoſitâ ex directâ ſpatiorum & reciprocâ temporum; ſeu ſi celeritas dicatur C, ſpatium S, tempus T; erit C ut $S:T$, ſive $C = S:T$, ſeu celeritas exponi poteſt per ſpatium ad tempus applicatum, & multiplicando utrinque per T, erit $CT = S$, ſeu ſpatium eſt ut celeritas in tempus ducta, & dividendo utrinque per C, erit $T = S:C$, ſeu tempus eſt ut ſpatium ad celeritatem applicatum. Si duorum mobilium celeritates C, c, ſeu $S:T$; $s:\tau$, fuerint æquales, id eſt $S:T = s:\tau$, erit $S:s = T:\tau$, ſeu ſpatia ſunt ut tempora.

6. Jam verò cùm in motu nihil niſi corpus, ſpatium percurſum & tempus conſiderentur, & ratio ſpatii ad tempus celeritatem exponat (5), ſatis evidens eſt ad totum corporis motum ſeu quantitatem motûs inveniendam, ſolius maſſæ & celeritatis habendam eſſe rationem. Cùm autem motus totius corporis ſit æqualis ſummæ motuum ſingularum Maſſæ partium, ſeu elementorum, patet manente celeritate, motum totius maſſæ creſcere prout creſcit numerus elementorum maſſæ æqualium, ſeu quantitatem motûs eſſe proportionalem maſſæ; manente verò maſſâ, quantitas motûs eſt ut velocitas; nam ſi corpus idem duplum ſpatium eodem tempore percurrit, duplus eſt illius motus, ſi triplum, triplus &c. Siquidem manentibus tempore & maſſâ, nulla eſt alia quam ſpatiorum varietas, & motus ſunt ut ſpatia; ſed ſpatia temporibus æqualibus percurſa ſunt ut celeritates (5), ergo quantitates motûs ſunt etiam ut celeritates. Quare variantibus maſſis atque celeritatibus, motûs quantitas eſt ſemper ut maſſa in celeritatem ducta, ſeu in ratione compoſitâ maſſæ & celeritatis; ſi itaque motûs quantitas dicatur Q; Maſſa M, celeritas C; erit Q ut MC, quod ità exponimus $Q = MC$, dividendo utrinque

 que in corpore duplo majore æquali cum velocitate duplus eſt, & duplâ cum velocitate quadruplus.

DEFINITIO III. (d)

Materiæ vis inſita eſt potentia reſiſtendi, qua corpus unumquodque, quantum in ſe eſt, perſeverat in ſtatu ſuo vel quieſcendi vel movendi uniformiter in directum.

Hæc ſemper proportionalis eſt ſuo corpori, neque differt quicquam ab inertia maſſæ, niſi in modo concipiendi. Per inertiam materiæ, fit ut corpus omne de ſtatu ſuo vel quieſcendi vel movendi difficulter deturbetur. Unde etiam vis inſita nomine ſignificantiſſimo vis Inertiæ dici poſſit. Exercet verò corpus hanc vim ſolummodo in mutatione ſtatus ſui per vim aliam in ſe impreſſam facta; eſtque exercitium illud ſub diverſo reſpectu & Reſiſtentia & Impetus: reſiſtentia, quatenus corpus ad conſervandum ſtatum ſuum reluctatur vi impreſſæ; impetus, quatenus corpus idem, vi reſiſtentis obſtaculi difficul-

que per M, & deinde per C, erit $C = Q : M$; & $M = Q : C$; Seu celeritas eſt ut quantitas motûs ad maſſam applicata, & maſſa viciſſim, ut quantitas motûs per celeritatem diviſa. Si quantitates motûs Q, q, ſeu MC, mc, fuerint æquales, erit $MC = mc$, & $M : m = c : C$, ſeu maſſæ ſunt reciprocè ut celeritates; & viceverſâ ſi $M : m = c : C$, erit $MC = mc$, ſeu ſi maſſæ ſunt in ratione velocitatum reciprocâ, quantitates motûs ſunt æquales. Prætereà cum, (5), ſit $C = S : T$, erit etiam $Q = MS : T$, ſeu quantitates motûs ſunt in ratione compoſitâ ex directis rationibus maſſæ & ſpatii & inverſâ temporis; invenietur etiam $QT = MS$, $M = QT : S$; $S = QT : M$, $T = MS : Q$.

Pari facilitate demonſtrari poſſunt cætera theoremata quæ de motuum comparatione, apud ſcriptores mechanicos fusè reperiuntur.

(d) 7. Vis duplex eſt, activa & paſſiva; Activa eſt potentia motum efficiendi; Paſſiva eſt potentia motum recipiendi vel amittendi; vis activa ſubdividi ſolet in vim vivam quæ cum motu actuali conjuncta eſt, & in vim mortuam quæ eſt tantùm conatus ſeu ſollicitatio ad motum, & ex quâ motus actualis non producitur, niſi vis mortuæ actio aliquandiù in corpore continuata fuerit. Sic vis gravitatis in globo qui ex filo pendet vel plano horizontali incumbit, eſt vis mortua, quâ quidem actu non movetur globus, ſed conatur moveri filumque tendit, aut planum premit. Si filum abrumpatur, vel planum ſuſtentans auferatur, tùm continuâ gravitatis actione globus motu accelerato cadit. Vis quâ corpus in circuli peripheriâ motum, filum centro alligatum tendit, & quâ proinde conatur à centro recedere eſt quoque vis mortua.

8. Ineſt omni materiæ vis inſita paſſiva, ſeu inertia, ex quâ nullus motus, nullaque tendentia ad motum reſultat, ſed quæ conſiſtit in renixu quo corpus quodlibet, cuilibet vi externæ mutatio-

nem

Digitized by Google

ſiculter cedendo, conatur ſtatum obſtaculi illius mutare. Vulgus reſiſtentiam quieſcentibus & impetum moventibus tribuit: ſed motus & quies, uti vulgo concipiuntur, reſpectu ſolo diſtinguuntur ab invicem; neque ſemper verè quieſcunt quæ vulgo tanquam quieſcentia ſpectantur.

DEFINITIO IV. (e)

Vis impreſſa eſt actio in corpus exercita, ad mutandum ejus ſtatum vel quieſcendi vel movendi uniformiter in directum.

Conſiſtit hæc vis in actione ſola, neque poſt actionem permanet in corpore. Perſeverat enim corpus in ſtatu omni novo per ſolam vim inertiæ. Eſt autem vis impreſſa diverſarum originum, ut ex Ictu, ex Preſſione, ex vi Centripetâ.

DEFINITIO V.

Vis Centripeta eſt, quâ corpora verſus punctum aliquod tanquam ad Centrum undique trahuntur, impelluntur, vel utcunque tendunt.

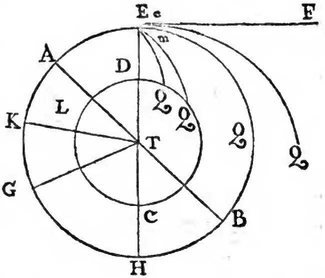
Hujus generis eſt Gravitas, quâ corpora tendunt ad centrum

nem ſtatûs, id eſt, motûs vel quietis inducere conanti reſiſtit. Etenim nulla poteſt eſſe actio corporis in corpus, quin luctatio quædam, ut loquitur Clar. *Hermanus* in *Phoronomiâ*, fiat inter corpus agens & patiens, dum alterum alteri reſiſtit; alioquî corpus motum poſſet ſine motûs proprii detrimento, aliud quodcumque movere. Vis illa inertiæ eadem eſt in corporibus motis & quieſcentibus; tam enim reſiſtunt corpora actioni quâ à quiete ad motum concitantur, quàm actioni quâ à motu ad quietem reducuntur. Eadem quippè vis requiritur ad motum datum producendum & ad eundem extinguendum. Quia autem vis illa inertiæ eadem in omnibus æqualibus materiæ partibus reperitur, conſequens eſt ut ſit materiæ proportionalis; dupla in maſſâ duplicatâ, tripla in triplicatâ. Majoribus etiam mutationibus corpora magis reſiſtunt quam minoribus, eſtque reſiſtentia actualis magnitudini mutationis proportionalis.

(e) 9. Nihil fit ſine cauſâ; undè omne corpus ut potè iners & paſſivum (8) in ſuo quocumque ſtatu perſeverat, niſi cauſâ aliquâ, ſeu vi externâ, ſtatum ſuum mutare cogatur; cùm igitur vis aliqua in corpus actu agit; vis impreſſa ſeu actio mutat quidem corporis ſtatum, ſed ceſſante illius vis actione, corpus in novo ſtatu per illam actionem recepto perſeverat ſolâ vi inertiæ paſſivâ, quâ fit ut ſine novâ vi externâ ſtatum ſuum mutare nullâ ratione poſſit; adeoque ſi ſemel movetur, ſibi relictum, perpetuò atque æquabiliter per lineam rectam movebitur, ſeu ſecundum directionem quâ impreſſum fuerit & quâ movebatur, dum actio vis externæ ceſſavit.

Digitized by Google

DEFINITIONES. trum terræ ; Vis Magnetica , quâ ferrum petit magnetem ; & Vis illa , quæcunque ſit , quâ Planetæ perpetuo retrahuntur a motibus rectilineis , & in lineis curvis revolvi coguntur. Lapis , in funda circumactus , a circumagente manu abire conatur ; & conatu ſuo fundam diſtendit , eoque fortius quo celerius revolvitur ; & quamprimum dimittitur , avolat. Vim conatui illi contrariam , quâ funda lapidem in manum perpetuo retrahit & in orbe retinet , quoniam in manum ceu orbis centrum dirigitur , Centripetam appello. Et par eſt ratio (f) corporum omnium , quæ in gyrum aguntur. Conantur ea omnia à centris orbium recedere ; & niſi adſit vis aliqua conatui iſti contraria , quâ cohibeantur & in orbibus retineantur , quamque ideo Centripetam appello , abibunt in rectis lineis uniformi cum motu. Projectile , ſi vi Gravitatis deſtitueretur , non deflecteretur in terram , ſed in linea recta abiret in cœlos ; idque uniformi cum motu , ſi modo aeris reſiſtentia tolleretur. Per gravitatem ſuam retrahitur a curſu rectilineo & in terram perpetuo flectitur , idque magis vel minus pro gravitate ſua & velocitate motus. Quo



(f) 10. Cùm linea quævis curva conſiderari poſſit tanquam polygonum , ex infinitis numero , atque infinitè parvis ſeu evaneſcentibus lateribus rectis compoſitum. Si corpus in curvâ E B H K , moveatur , in ſingulis curvæ punctis E fertur juxtà directionem lateris evaneſcentis E e , adeòque ſi ſibi relinqueretur , nec altera vis in extremitate hujus rectæ , E e , illud retraheret , & in lineam , e m , inflecteret , perpetuò atque æquabiliter moveretur per rectam , E e , productam (9) ac proinde cum linea E e producta , ſit ipſa curvæ tangens E F , uniformiter moveretur per tangentem in puncto E , niſi nova vis perpetuò in illud agens , cujus directio eſt versùs curvam , ipſum à motu rectilineo retraheret & in orbitâ ſuâ retineret , quo major eſt vis aut celeritas ſecundùm directionem tangentis vel evaneſcentis lateris , E e , & minor vis illa quâ mobile à tangente in cur-

Digitized by Google

Quo minor fuerit ejus gravitas pro quantitate materiæ, vel major velocitas quâcum projicitur, eo minus deviabit a curſu rectilineo & longius perget. Si Globus plumbeus, data cum velocitate ſecundum lineam horizontalem a montis alicujus vertice vi pulveris tormentarii projectus, pergeret in linea curva ad diſtantiam duorum milliarium, priuſquam in terram decideret: hic dupla cum velocitate quaſi duplo longius pergeret, & decupla cum velocitate quaſi decuplo longius: ſi modo aeris reſiſtentia tolleretur. Et augendo velocitatem augeri poſſet pro lubitu diſtantia in quam projiceretur, & minui curvatura lineæ quam deſcriberet, ita ut tandem caderet ad diſtantiam graduum decem vel triginta vel nonaginta; vel etiam ut terram totam circuiret, vel denique ut in cœlos abiret & motu abeundi pergeret in infinitum. Et eadem ratione, quâ Projectile vi gravitatis in orbem flecti poſſet & terram totam circuire, poteſt & Luna vel vi gravitatis, ſi modo gravis ſit, vel aliâ quâcunque vi, quâ in terram urgeatur, retrahi ſemper a curſu rectilineo terram verſus, & in orbem ſuum flecti: & ſine tali vi Luna

curvam retrahitur, eò minùs a tangente deviat corpus, adeoque curva quam motu ſuo deſcribit, ad tangentem ſeu rectam lineam propiùs accedit. Econtrà decreſcente vi aut celeritate ſecundùm directionem tangentis, aut creſcente vi alterâ quæ a tangente deflectit, corpus a motu rectilineo magis retrahitur, & major fit lineæ curvatura. Nam effectus ſunt cauſis ſuis proportionales; eſt autem motus per tangentem rectilineus, effectus vis ſecundùm directionem tangentis, & deviatio a tangente, effectus vis illius quæ a tangente retrahit.

11. Sit terræ circumferentia D Q C, illiuſque centrum T, ex quo vim ad centrum trahentem per totum circumquaque ſpatium propagari fingamus, aut, ſi magis placuerit, ſupponamus eſſe vim per totum ſpatium diffuſam, quâ corpora omnia ſecundùm directionem radiorum, E T, A T, ad centrum T urgeantur, & ex vertice E montis E D projiciatur corpus juxtà directionem rectæ E F ad E T, normalis; corpus illud hâc ſolâ vi impreſsâ æquabiliter per rectam E F moveretur (9); at vi centripetâ ſeu vi tendente ad centrum T ab illâ rectâ perpetuò retrahitur & cogitur incedere in curvâ aliquâ E Q quam tangit in E recta E F (10); augendo vim impreſſam ſecundùm directionem tangentis, E F, curva E Q, ad tangentem E F, propiùs accedit, adeò ut corpus variis & ſucceſſivè creſcentibus celeritatibus projectum, terram tardiùs ſemper attingat; deindè circà eam revolvatur, tandemque in infinitum abeat. Ut igitur corpus per rectam E F, datâ velocitate projectum, curvam datam E Q deſcribat, certa ac determinata vis centripeta requiritur; & viceversâ datâ velocitate ſecundùm rectam E e ſeu E F, & vi centripetâ etiam datâ, corpus nonniſi certam ac determinatam curvam E Q poteſt deſcribere; & mathematicorum eſt ex datis velocitate per tangentem E F & curvâ E Q quam corpus deſcribit, invenire vim centri-

DEFINITIONES. Luna in orbe ſuo retineri non poteſt. Hæc vis, ſi juſto minor eſſet, non ſatis flecteret Lunam de curſu rectilineo: ſi juſto major, plus ſatis flecteret, ac de orbe ſuo terram verſus deduceret. Requiritur quippe, ut ſit juſtæ magnitudinis: & Mathematicorum eſt invenire Vim, quâ corpus in dato quovis orbe datâ cum velocitate accuratè retineri poſſit; & viciſſim invenire viam curvilineam, in quam corpus è dato quovis loco datâ cum velocitate egreſſum a datâ vi flectatur. Eſt autem vis hujus centripetæ Quantitas trium generum, Abſoluta, Acceleratrix, & Motrix.

DEFINITIO VI. (8)

Vis centripetæ Quantitas Abſoluta eſt menſura ejuſdem major vel minor pro Efficacia cauſæ eam propagantis a centro per regiones in circuitu.

Ut vis Magnetica pro mole magnetis vel intenſione virtutis major in uno magnete, minor in alio.

DEFI-

tripetam; quâ a tangente retrahitur & in orbitâ ſuâ retinetur, & reciprocè ex datâ velocitate per tangentem & vi centripetâ, curvam invenire; quæ duo NEWTONUS mirâ ſagacitate & elegantiâ perfecit.

(8) 12. In centro T exiſtere ſupponatur corpus, ex quo per omne ſpatium diffundatur vis, quæ juxta directionem radiorum A T, E T, H T, versùs centrum, aut a centro versùs ſpatia circumpoſita, juxtà directionem radiorum T A, T E, T H, agat; in 1°. caſu vis illa centripeta, in 2°. vis centrifuga, in utroque vis centralis dicitur.

Hæc vis in centro conſiderata duplici præſertim ratione variare poteſt; Si enim corpus quod centrum occupat, & cui vis ineſt, in ſua æqualia elementa diviſum intelligatur, & vis ſit ſingulis elementis æqualis ejuſdemque conſtanter intenſionis; vis totius corporis centralis, ſeu vis centralis quantitas abſoluta, erit maſſæ ſeu ſummæ elementorum proportionalis. At ſi manente eâdem corporis centralis maſsâ, vis ſemper manens æqualis in ſingulis elementis æqualibus intenſivè creſcat vel decreſcat, vis tota corporis centralis ſeu vis centralis quantitas abſoluta, erit proportionalis intenſioni vis in ſingulis elementis exiſtentis; quare variantibus maſsâ & vi ſingulorum elementorum, vis centralis quantitas abſoluta erit in ratione compoſitâ maſſæ & intenſionis vis in ſingulis elementis æqualibus.

Digitized by Google

DEFINITIO VII. (h)

Vis centripetæ Quantitas Acceleratrix eſt ipſius menſura Velocitati proportionalis, quam dato tempore generat.

Uti Virtus magnetis ejuſdem major in minori diſtantia, minor in majori: vel vis Gravitans major in vallibus, minor in cacuminibus altorum montium, atque adhuc minor (ut poſthac patebit) in majoribus diſtantiis à globo terræ; in æqualibus autem diſtantiis eadem undique, propterea quod corpora omnia cadentia (gravia an levia, magna an parva) ſublata Aeris reſiſtentia, æqualiter accelerat.

(h) 13. Si vis centralis non ampliùs in centro, ſed in quâcumque à centro diſtantiâ conſideretur, poſſumus in variis illis à centro diſtantiis ſuperficies ſphæricas fingere, quarum commune centrum ſit T, & vis centralis in illis diſtantiis ſeu ſuperficiebus ſphæricis conſiderata, dicitur vis acceleratrix. Illius autem quantitas erit proportionalis celeritati quam dato ſeu conſtante tempore in ſingulis materiæ elementis à centro æquidiſtantibus producet; nam ſi ſupponamus vim illam conſtantem in elementa materiæ continuò agere, eo major erit quo major erit velocitas dato tempore genita, ita ut ſi tempore æquali dupla generetur velocitas, dupla quoque ſit vis, cum velocitas illa ſit illius vis effectus plenus. Si conſtans maneat celeritas à vi acceleratrice genita, erit vis in ratione inversâ temporis quo celeritas illa producitur, nam ſi eadem celeritas tempore ſubduplo producatur, vis duplicatur. Quare ſi manente vi conſtante, celeritas & tempus varient, erit vis acceleratrix in ratione compoſitâ ex directâ celeritatis genitæ & reciprocâ temporis. Si igitur vis acceleratrix dicatur, G; celeritas producta C; tempus quo producitur, T, erit $G = C : T$, & $G T = C$, & $T = C : G$. Licet autem variet vis acceleratrix, eadem tamen eſt illius menſura, modò celeritas naſcens ſeu initio motûs tempore quàm minimo producta conſideretur, tunc enim vis agit uniformiter.

14. Si vis aliqua per radios divergentes in medio non reſiſtente diffundatur, vis acceleratrix decreſcit in ratione duplicatâ diſtantiarum à centro; nam quia vis illa, ex hyp., in medio non reſiſtente propagatur, nullus intercipitur radius, nec vis ſingulorum minuitur, adeóque radii qui in diſtantiâ T L, per hemiſphærium à ſemicirculo D L C deſcriptum diffundebantur, in diſtantiâ, T K per hemiſphærium E K H propagantur, eſt autem vis acceleratrix ut radiorum denſitas, & radiorum denſitas eſt reciprocè ut ſuperficies hemiſphæriorum à ſemicirculis deſcriptorum; nam radiorum denſitas eſt ut ſumma ſeu numerus radiorum per ſuperficiem quam occupant diviſus; hic enim ſumma radiorum eſt ut maſſa, ſuperficies verò cui inſunt, ut volumen. Verùm cum per hyp., idem numerus radiorum ſuperficies ſingulorum hemiſphæriorum occupet, erit denſitas radiorum in ratione inversâ illarum ſuperficierum in quâvis à centro diſtantiâ deſcriptarum; illæ autem ſuperficies ſunt in ratione duplicatâ diſtantiarum à centro; ergò & vis acceleratrix eſt in ratione duplicatâ diſtantiarum à centro reciprocè. Egregium illud theorema, ut ex demonſtratione patet, omnem excludit medii reſiſtentiam; quare ut in phyſicis valeat, medii reſiſtentia in con-

Digitized by Google

DEFINI-
TIONES.

DEFINITIO VIII. (i)

Vis centripetæ Quantitas Motrix eſt ipſius menſura proportionalis Motui, quem dato tempore generat.

Uti Pondus majus in majore corpore, minus in minore; & in corpore eodem majus prope terram, minus in cœlis. Hæc Quantitas eſt corporis totius centripetentia ſeu propenſio in centrum, & (ut ita dicam) Pondus; & innoteſcit ſemper per vim ipſi contrariam & æqualem, quâ deſcenſus corporis impediri poteſt.

Haſce virium quantitates brevitatis gratia nominare licet vires motrices, acceleratrices, & abſolutas; & diſtinctionis gratia referre ad Corpora, centrum petentia, ad corporum Loca, & ad Centrum virium: nimirum vim motricem ad Corpus, tanquam conatum totius in centrum ex conatibus omnium partium compoſitum; & vim acceleratricem ad Locum corporis, tanquam efficaciam quandam, de centro per loca ſingula in circuitu diffuſam, ad movenda corpora quæ in ipſis ſunt; vim autem abſolutam ad Centrum, tanquam cauſa aliqua

computum venire debet. Hæc autem virium ſeu qualitatum è centro emanantium theoria ad majorem univerſalitatem reduci poteſt, ſi vis in ſingulis radiis variè propagari ſupponatur, aut etiam ſi per lineas curvas diffundi fingatur. Sed hæc fuſiùs proſequi præſentis non eſt inſtituti.

(i) 15. Si vis centripeta in corpore ad centrum propulſo conſideretur; ut totus illius corporis in centrum conatus ſeu vis centripetæ quantitas motrix habeatur, ducenda eſt maſſa in vim acceleratricem; nam vis motrix totius corporis componitur ex omnibus viribus, quibus ſingula æqualia elementa urgentur, adeóque ex vi acceleratrice toties ſumptâ quot ſunt in corpore æqualia materiæ elementa, ſive ex vi acceleratrice in maſſam ductâ. Supponimus enim ſingula elementa æqualia, æquali vi acceleratrice urgeri. Sed vis acceleratrix eſt ut celeritas dato tempore genita, (13), ergò vis centripetæ quantitas motrix eſt ut maſſa in illam celeritatem ducta, ſeu ut quantitas motûs, dato tempore producta. Si igitur vis acceleratrix dicatur, G; maſſa, M, vis motrix, p, erit p, ut, MG, & M, ut p : G, & G, ut p : M, ſeu maſſa eſt ut vis motrix per vim acceleratricem diviſa, & vis acceleratrix, ut vis motrix per maſſam diviſa. Si duæ fuerint vires motrices P & p, ſeu MG, & mg, æquales, erit M : m = g : G, ſeu maſſæ ſunt ut vires acceleratrices reciproce; & viceversâ, ſi M : m = g : G, erit mg = MG, ſeu ſi maſſæ ſunt reciprocè ut vires acceleratrices, vires motrices ſunt æquales. Porrò cum vires acceleratrices ſint ut celeritates dato tempore genitæ (13), in ſuperioribus proportionibus loco virium acceleratricium celeritates illæ ſubſtitui poſſunt.

Digitized by Google

quâ præditum, ſine quâ vires motrices non propagantur per regiones in circuitu; ſive cauſa illa ſit corpus aliquod centrale (quale eſt Magnes in centro vis magneticæ, vel Terra in centro vis gravitantis) ſive alia aliqua quæ non apparet. Mathematicus duntaxat eſt hic conceptus. Nam virium cauſas & ſedes Phyſicas jam non expendo. DEFINITIONES.

Eſt igitur vis acceleratrix ad vim motricem ut celeritas ad motum. Oritur enim quantitas motus ex celeritate & ex quantitate materiæ, & vis motrix ex vi acceleratrice & ex quantitate ejuſdem materiæ conjunctim. Nam ſumma actionum vis acceleratricis in ſingulas corporis particulas eſt vis motrix totius. Unde juxta ſuperficiem Terræ, ubi gravitas acceleratrix ſeu vis gravitans in corporibus univerſis eadem eſt, gravitas motrix ſeu pondus eſt ut corpus: at ſi in regiones aſcendatur ubi gravitas acceleratrix ſit minor, pondus pariter minuetur, eritque ſemper ut corpus & gravitas acceleratrix conjunctim. Sic in regionibus ubi gravitas acceleratrix duplo minor eſt, pondus corporis duplo vel triplo minoris erit quadruplo vel ſextuplo minus.

Porro attractiones & impulſus eodem ſenſu acceleratrices & motrices nomino. Voces autem Attractionis, Impulſus, vel Propenſionis cujuſcunque in centrum, indifferenter & pro ſe mutuò promiſcuè uſurpo; has vires non Phyſicè, ſed Mathematicè tantùm conſiderando. Unde caveat lector, ne per hujuſmodi voces cogitet me ſpeciem vel modum actionis cauſamve aut rationem Phyſicam alicubi definire, vel centris (quæ ſunt puncta Mathematica) vires verè & Phyſicè tribuere; ſi forte aut centra trahere, aut vires centrorum eſſe dixero.

Scholium.

Hactenus voces minus notas, quo ſenſu in ſequentibus accipiendæ ſint, explicare viſum eſt. Tempus, Spatium, Locum & Motum, ut omnibus notiſſima, non definio. Notandum tamen, quod vulgus quantitates haſce non aliter quam

Digitized by Google

DEFINITIONES. ex relatione ad ſenſibilia concipiat. Et inde oriuntur præjudicia quædam, quibus tollendis convenit eaſdem in abſolutas & relativas, veras & apparentes, mathematicas & vulgares diſtingui.

(k) I. Tempus Abſolutum, verum, & mathematicum, in ſe & naturâ ſuâ ſine relatione ad externum quodvis, æquabiliter fluit, alioque nomine dicitur Duratio: Relativum, apparens, & vulgare eſt ſenſibilis & externa quævis Durationis per motum menſura (ſeu accurata ſeu inæquabilis) quâ vulgus vice veri temporis utitur; ut Hora, Dies, Menſis, Annus.

II. Spatium Abſolutum, naturâ ſuâ ſine relatione ad externum quodvis, ſemper manet ſimilare & immobile: Relativum eſt ſpatii hujus menſura ſeu dimenſio quælibet mobilis, quæ à ſenſibus noſtris per ſitum ſuum ad corpora definitur, & à vulgo pro ſpatio immobili uſurpatur: uti dimenſio ſpatii ſubterranei, aerëi vel cœleſtis definita per ſitum ſuum ad Terram. Idem ſunt ſpatium abſolutum & relativum, ſpecie & magnitudine; ſed non permanent idem ſemper numero. Nam ſi Terra, verbi gratia, moveatur; ſpatium Aeris noſtri, quod relativè & reſpectu Terræ ſemper manet idem, nunc erit una pars ſpatii abſoluti in quam Aer tranſit, nunc alia pars ejus; & ſic abſolutè mutabitur perpetuò.

III. Locus eſt pars ſpatii quam corpus occupat, eſtque pro ratione ſpatii vel Abſolutus vel Relativus. Pars, inquam, ſpatii; non Situs corporis, vel Superficies ambiens. Nam ſolidorum æqualium æquales ſemper ſunt loci; Superficies autem ob diſſimilitudinem figurarum ut plurimùm inæquales ſunt; Situs vero propriè loquendo quantitatem non habent, ne-

(k) 16. Quemadmodùm Geometræ lineam fluxu puncti generari fingunt, ita tempus abſolutum mathematicè conſiderare poſſumus, tanquam æquabilem unius inſtantis ſeu puncti temporis fluxum. Quapropter ſi corpus aliquod æquabili celeritate moveretur, illud eodem modo ac temporis punctum flueret, ſpatiaque ab eo deſcripta forent temporibus proportionalia (5); eo igitur motu tanquam accuratâ durationis menſurâ uti poſſemus. Verùm corporum cæleſtium & horologiorum motus, quos ad temporis menſuram adhibemus, licet vulgò ſupponantur æquabiles, variis tamen ex cauſis accelerantur vel retardantur, ſicque menſuræ illæ vulgares non ſunt tempori abſoluto proportionales.

Digitized by Google

neque tam ſunt loca quam affectiones locorum. Motus totius idem eſt cum ſumma motuum partium, hoc eſt, tranſlatio totius de ſuo loco eadem eſt cum ſumma tranſlationum partium de locis ſuis; ideoque locus totius idem eſt cum ſumma locorum partium, & propterea internus & in corpore toto.

IV. Motus Abſolutus eſt tranſlatio corporis de loco abſoluto in locum abſolutum, Relativus de relativo in relativum. Sic in navi quæ velis paſſis fertur, relativus corporis Locus eſt navigii regio illa in quâ corpus verſatur, ſeu cavitatis totius pars illa quam corpus implet, quæque adeo movetur unà cum navi: & Quies relativa eſt permanſio corporis in eâdem illâ navis regione vel parte cavitatis. At quies vera eſt permanſio corporis in eâdem parte ſpatii illius immoti in quâ navis ipſa unà cum cavitate ſuâ & contentis univerſis movetur. Unde ſi Terra verè quieſcat, corpus quod relativè quieſcit in navi, movebitur verè & abſolutè eâ cum velocitate quâ navis movetur in Terrâ. Sin Terra etiam moveatur, orietur verus & abſolutus corporis motus, partim ex Terræ motu vero in ſpatio immoto, partim ex navis motu relativo in Terrâ: & ſi corpus etiam moveatur relativè in navi, orietur verus ejus motus, partim ex vero motu Terræ in ſpatio immoto, partim ex relativis motibus tum navis in Terrâ, tum corporis in navi; & ex his motibus relativis orietur corporis motus relativus in Terrâ. Ut ſi Terræ pars illa, ubi navis verſatur, moveatur verè in orientem cum velocitate partium 10010; & velis ventoque feratur navis in occidentem cum velocitate partium decem; Nauta autem ambulet in navi orientem verſus cum velocitatis parte unà: movebitur Nauta verè & abſolutè in ſpatio immoto cum velocitatis partibus 10001 in orientem, & relativè in terrâ occidentem verſus cum velocitatis partibus novem.

(1) Tempus Abſolutum a relativo diſtinguitur in Aſtronomiâ

per

(1) 17. Æquatio temporis dicitur differentia quæ inter tempus abſolutum & tempus relativum, (h. e. tempus per ſolis revolutionem menſuratum) intercedit; quæ proindè tempori relativo juncta, vel ab eo ſubducta conficit tempus abſolutum & vice verſâ.

Digitized by Google

per Æquationem temporis vulgi. Inæquales enim ſunt dies naturales, qui vulgo tanquam æquales pro menſura temporis habentur. Hanc inæqualitatem corrigunt Aſtronomi, ut ex veriore tempore menſurent motus cœleſtes. Poſſibile eſt, ut nullus ſit motus æquabilis quo Tempus accuratè menſuretur. Accelerari & retardari poſſunt motus omnes, ſed fluxus temporis abſoluti mutari nequit. Eadem eſt duratio ſeu perſeverantia exiſtentiæ rerum; ſive motus ſint celeres, ſive tardi, ſive nulli: proinde hæc a menſuris ſuis ſenſibilibus meritò diſtinguitur, & ex iiſdem colligitur per Æquationem Aſtronomicam. Hujus autem æquationis in determinandis Phænomenis neceſſitas, tum per experimentum Horologii Oſcillatorii, tum etiam per eclipſes Satellitum Jovis evincitur.

Ut ordo partium Temporis eſt immutabilis, ſic etiam ordo partium Spatii. Moveantur hæc de locis ſuis, & movebuntur (ut ita dicam) de ſeipſis. Nam tempora & ſpatia ſunt ſui ipſorum & rerum omnium quaſi Loca. In Tempore quoad ordinem ſucceſſionis; in Spatio quoad ordinem ſitus locantur univerſa. De illorum eſſentia eſt ut ſint Loca: & loca primaria moveri abſurdum eſt. Hæc ſunt igitur abſoluta Loca; & ſolæ tranſlationes de his locis ſunt abſoluti Motus.

Verum quoniam hæ Spatii partes videri nequeunt, & ab invicem per ſenſus noſtros diſtingui; earum vice adhibemus menſuras ſenſibiles. Ex poſitionibus enim & diſtantiis rerum à corpore aliquo, quod ſpectamus ut immobile, definimus loca univerſa: deinde etiam & omnes motus æſtimamus cum reſpectu ad prædicta loca, quatenus corpora ab iiſdem transferri concipimus. Sic vice locorum & motuum abſolutorum relativis utimur, nec incommodè in rebus humanis: in Philoſophicis autem abſtrahendum eſt a ſenſibus. Fieri etenim poteſt, ut nullum revera quieſcat corpus, ad quod loca motuſque referantur.

Diſtinguuntur autem Quies & Motus abſoluti & relativi ab invicem per Proprietates ſuas & Cauſas & Effectus. Quietis proprietas eſt, quod corpora verè quieſcentia quieſcunt inter ſe. Ideoque cum poſſibile ſit, ut corpus aliquod in regionibus

Digitized by Google

bus Fixarum, aut longè ultra, quieſcat abſolutè; ſciri autem non poſſit ex ſitu corporum ad invicem in regionibus noſtris, horumne aliquod ad longinquum illum datam poſitionem ſervet necne, quies vera ex horum ſitu inter ſe definiri nequit. DEFINITIONES.

Motûs proprietas eſt, quod partes, quæ datas ſervant poſitiones ad tota, participant motus eorundem totorum. Nam Gyrantium partes (m) omnes conantur recedere ab axe motus, & Progredientium impetus oritur ex conjuncto impetu partium ſingularum. Motis igitur corporibus ambientibus, moventur quæ in ambientibus relativè quieſcunt. Et propterea motus verus & abſolutus definiri nequit per tranſlationem è viciniâ corporum, quæ tanquam quieſcentia ſpectantur. Debent enim corpora externa non ſolum tanquam quieſcentia ſpectari, ſed etiam verè quieſcere. Alioquin incluſa omnia, præter tranſlationem è viciniâ ambientium, participabunt etiam ambientium motus veros; & ſublatâ illâ tranſlatione non verè quieſcent, ſed tanquam quieſcentia ſolummodo ſpectabuntur. Sunt enim ambientia ad incluſa, ut totius pars exterior ad partem interiorem, vel ut cortex ad nucleum. Moto autem cortice, nucleus etiam, ſine tranſlatione de viciniâ corticis, ceu pars totius movetur.

Præcedenti proprietati affinis eſt, quod moto Loco movetur unà Locatum: ideoque corpus, quod de loco moto movetur, participat etiam loci ſui motum. (n) Motus igitur omnes, qui de locis motis fiunt, ſunt partes ſolummodo motuum integrorum & abſolutorum: & motus omnis integer componitur ex

(m) 18. Gyrantium corporum partes ſingulæ in orbitis curvilineis moventur, adeóque (10) per tangentes orbitarum progredi, atque ita ab axe motûs recedere nituntur; ut ſi trochus vel ſphæra circa axem rotatur, ſingulæ illorum corporum partes circulos deſcribunt, & ab illorum centris per tangentes effugere conantur, cùmque omnia illa centra ſint in axe motûs poſita, ſingulæ partes ab axe recedere nituntur.

(n) 19. Si nauta in navi deambulare ſupponatur, motuſque navis & nautæ conſpirent, integra & abſoluta nautæ celeritas componitur ex celeritate nautæ reſpectu loci ſui primi in navi, ex celeritate loci illius, id eſt, navis reſpectu maris, ſeu reſpectu loci ſecundi, & ex celeritate maris reſpectu ſpatii immoti. Si autem motus nautæ, motui navis foret directè oppoſitus, abſoluta nautæ velocitas æqua-

Digitized by Google

DEFINITIONES.

ex motu corporis de loco ſuo primo, & motu loci hujus de loco ſuo, & ſic deinceps; uſque dum perveniatur ad locum immotum, ut in exemplo Nautæ ſupra memorato. Unde motus integri & abſoluti non niſi per loca immota definiri poſſunt: & propterea hos ad loca immota, relativos ad mobilia ſupra retuli. Loca autem immota non ſunt, niſi quæ omnia ab infinito in infinitum datas ſervant poſitiones ad invicem; atque adeo ſemper manent immota, ſpatiumque conſtituunt quod Immobile appello.

Cauſæ, quibus motus veri & relativi diſtinguuntur ab invicem, ſunt Vires in corpora impreſſæ ad motum generandum. Motus verus nec generatur nec mutatur, niſi per vires in ipſum corpus motum impreſſas: at motus relativus generari & mutari poteſt ſine viribus impreſſis in hoc corpus. Sufficit enim ut imprimatur in alia ſolum corpora ad quæ fit relatio, ut iis cedentibus mutetur relatio illa in quâ hujus quies vel motus relativus conſiſtit. Rurſum motus verus à viribus in corpus motum impreſſis ſemper mutatur; at motus relativus ab his viribus non mutatur neceſſario. Nam ſi eædem vires in alia etiam corpora, ad quæ fit relatio, ſic imprimantur ut ſitus relativus conſervetur, conſervabitur relatio in quâ motus relativus conſiſtit. Mutari igitur poteſt motus omnis relativus ubi verus conſervatur, & conſervari ubi verus mutatur; & propterea motus verus in ejuſmodi relationibus minime conſiſtit.

Effectus quibus motus abſoluti & relativi diſtinguuntur ab invicem, ſunt vires recedendi ab axe motus circularis. (°) Nam in motu circulari nudè relativo hæ vires nullæ ſunt, in vero autem & abſoluto majores vel minores pro quantitate motus. Si

æqualis foret differentiæ celeritatum navis reſpectu ſpatii immoti, & nautæ reſpectu navis. Tandem ſi motus nautæ reſpectu navis foret obliquus, illius directio & velocitas in duas alias directiones & velocitates ita reſolvi debent, ut una directio cum aliorum motuum communi directione conſpiret, alia verò ſit ipſi perpendicularis, tuncque, ex regulis infrà demonſtrandis, facillimè invenietur tùm abſoluta nautæ celeritas, tùm illius vera directio.

(°) 20. In motu circulari nudè relativo, id eſt, in quiete abſolutâ corporis inertis, quod motu duntaxat relativo movetur, vires activæ nullæ ſunt.

Digitized by Google

Si pendeat ſitula à filo prælongo, agaturque perpetuò in orbem, donec filum à contorſione admodum rigeſcat, dein impleatur aquâ, & unà cum aquâ quieſcat; tum vi aliquâ ſubitaneâ agatur motu contrario in orbem, & filo ſe relaxante, diutius perſeveret in hoc motu; (p) ſuperficies aquæ ſub initio plana erit, quemadmodum ante motum vaſis: at poſtquam vas, vi in aquam paulatim impreſsâ, effecit ut hæc quoque ſenſibiliter revolvi incipiat; recedet ipſa paulatim à medio, aſcendetque ad latera vaſis, figuram concavam induens, (ut ipſe expertus ſum) & incitatiore ſemper motu aſcendet magis & magis, donec revolutiones in æqualibus cum vaſe temporibus peragendo, quieſcat in eodem relativè. Indicat hic aſcenſus conatum recedendi ab axe motus, & per talem conatum innoteſcit & menſuratur motus aquæ circularis verus & abſolutus, motuique relativo hic omnino contrarius. Initio, ubi maximus erat aquæ motus relativus in vaſe, motus ille nullum excitabat conatum recedendi ab axe: aqua non petebat circumferentiam aſcendendo ad latera vaſis, ſed plana manebat, & propterea illius verus motus circularis nondum inceperat. Poſtea vero, ubi aquæ motus relativus decrevit, aſcenſus ejus ad latera vaſis indicabat conatum recedendi ab axe; atque hic conatus monſtrabat motum illius circularem verum perpetuo creſcentem, ac tandem maximum factum ubi aqua quieſcebat in vaſe relativè. Quare conatus iſte non pendet à tranſlatione aquæ reſpectu corporum ambientium, & propterea motus cir-

 cularis

(p) 21. Cum aqua vi inertiæ (8) in eodem quieſcendi ſtatu perſeverare nitatur, in eam nonniſi gradatim & per repetitam laterum ſitulæ frictionem motus circularis tranſire poteſt; adeoque ſub initio motûs ſitulæ, tota aquæ maſſa quieſcit abſolutè, ſive quod idem eſt, maximâ velocitate nudè relativâ in vaſe revolvitur; undè deſtituta omni vi activâ (20) ſicut antè motum ſitulæ, plana & quieta manet. Sed cum iterato laterum vaſis impulſu, motus circularis ad aquam tranſierit, ſingulæ partes aquæ (18) ab axe motûs; ſeu à medio vaſis conantur recedere, cùmque minorem ſursùm in aëre reſiſtentiam inveniant, ad latera ſitulæ accumulantur & aſcendunt, & quò celeriùs aguntur in orbem, eo majori conatu ab axe motûs per tangentes recedere nituntur. (10. 11.) Porrò cum inter vim centrifugam & celeritatem corporis in dato circulo revolventis certa debeat eſſe ac determinata proportio, ex vi centrifugâ ſeu conatu recedendi ab axe, cognoſci ac menſurari poteſt velocitas motûs circularis abſoluta, ut deinceps demonſtrabitur.

Digitized by Google

DEFINITIONES. cularis verus per tales tranſlationes definiri nequit. Unicus eſt corporis cujuſque revolventis motus verè circularis, conatui unico tanquam proprio & adæquato effectui reſpondens: motus autem relativi pro variis relationibus ad externa innumeri ſunt; & relationum inſtar, effectibus veris omnino deſtituuntur, niſi quatenus verum illum & unicum motum participant. Unde & in Syſtemate eorum qui Cœlos noſtros infra Cœlos Fixarum in orbem revolvi volunt, & Planetas ſecum deferre; ſingulæ Cœlorum partes, & Planetæ qui relativè quidem in Cœlis ſuis proximis quieſcunt, moventur verè. Mutant enim poſitiones ſuas ad invicem (ſecus quàm fit in verè quieſcentibus) unàque cum cœlis delati participant eorum motus, & ut partes revolventium totorum, ab eorum axibus recedere conantur.

Quantitates relativæ non ſunt igitur eæ ipſæ quantitates, quarum nomina præ ſe ferunt, ſed ſunt earum menſuræ illæ ſenſibiles (veræ an errantes) quibus vulgus loco quantitatum menſuratarum utitur. At ſi ex uſu definiendæ ſunt verborum ſignificationes, per nomina illa Temporis, Spatii, Loci & Motus propriè intelligendæ erunt hæ menſuræ ſenſibiles; & ſermo erit inſolens & purè Mathematicus, ſi quantitates menſuratæ hic intelligantur. Proinde vim inferunt Sacris Literis, qui voces haſce de quantitatibus menſuratis ibi interpretantur. Neque minus contaminant Matheſin & Philoſophiam, qui quantitates veras cum ipſarum relationibus & vulgaribus menſuris confundunt.

Motus quidem veros corporum ſingulorum cognoſcere, & ab apparentibus actu diſcriminare, difficillimum eſt: propterea quod partes ſpatii illius immobilis, in quo corpora verè moventur, non incurrunt in ſenſus. Cauſa tamen non eſt prorſus deſperata. Nam argumenta deſumi poſſunt, partim ex motibus apparentibus qui ſunt motuum verorum differentiæ, partim ex viribus quæ ſunt motuum verorum cauſæ & effectus. Ut ſi globi duo, ad datam ab invicem diſtantiam filo intercedente connexi, revolverentur circa commune gravitatis centrum, innoteſceret ex tenſione fili conatus globorum recedendi ab axe motus, & inde quantitas motus circularis computari poſ-

ſet.

Digitized by Google

ſet. (q) Deinde ſi vires quælibet æquales in alternas globorum facies ad motum circularem augendum vel minuendum ſimul imprimerentur, innoteſceret ex auctâ vel diminutâ fili tenſione augmentum vel decrementum motus, & inde tandem inveniri poſſent facies globorum in quas vires imprimi deberent, ut motus maxime augeretur; id eſt, facies poſticæ, ſive quæ in motu circulari ſequuntur. Cognitis autem faciebus quæ ſequuntur, & faciebus oppoſitis quæ præcedunt, cognoſceretur determinatio motus. In hunc modum inveniri poſſet & quantitas & determinatio motus hujus circularis in vacuo quovis immenſo, ubi nihil extaret externum & ſenſibile quocum globi conferri poſſent. Si jam conſtituerentur in ſpatio illo corpora aliqua longinqua datam inter ſe poſitionem ſervantia, qualia ſunt Stellæ Fixæ in regionibus Cœlorum (r), ſciri quidem non poſſet ex relativa globorum tranſlatione inter corpora, utrum his an illis tribuendus eſſet motus. At ſi attenderetur ad filum, & deprehenderetur tenſionem ejus illam ipſam eſſe quam motus globorum requireret, concludere liceret motum eſſe globorum, & corpora quieſcere; & tum demum ex tranſlatione globorum inter corpora, determinationem hujus motus colligere. Motus autem veros ex eorum cauſis, effectibus, & apparentibus differentiis colligere, & contra ex motibus ſeu veris ſeu apparentibus eorum cauſas & effectus, docebitur fuſius in ſequentibus. Hunc enim in finem Tractatum ſequentem compoſui.

(q) 22. Si in alternas, ſeu è diametro ſibi oppoſitas globorum facies, ad motum circularem augendum vel minuendum, imprimerentur vires quælibet æquales, quæ proindè non perturbarent æquilibrium globorum circà commune gravitatis centrum, id eſt, circa punctum æquilibrii revolventiſi, innoteſceret ex auctâ vel diminutâ fili tenſione augmentum vel decrementum motûs &c.

(r) 23. Spectator in globo moto, vel etiam in ſtellâ fixâ poſitus, ſolo oculorum auxilio, ſeu ex motibus apparentibus diſcernere non poſſet, an globus, an ſtella verè moveretur; quemadmodùm telluris incolæ ex apparenti ſtellarum motu determinare non poſſunt, an ſtellæ verè moveantur; ſive enim cum terrâ moveamur, & ſtellæ quieſcant abſolutè, ſive è contrà moveantur ſtellæ & terra quieſcat, eædem omnino ſunt apparentiæ, iidem motus relativi; quod quidem notiſſimo illuſtratur exemplo navis æquabiliter motæ, cujus motus, ab iis qui navi vehuntur, oculis non percipitur, dum litora urbeſque fugere videmur. Ex optices principiis horum phænomenωn petenda eſt ratio; ea enim corpora quieſcere videntur quæ, dum nos ipſi nullam actualem voluntatem noſmet movendi exercemus, eandem reſpectu oculi poſitionem conſtanter ſervant, ita ut eorum imago quæ in fundo oculi pingitur, eandem ſemper retinæ partem occupet; ea verò objecta moveri videntur quæ reſpectu oculi ſitum ſuum continuò mutant; ſeu quorum imagines diverſas retinæ partes ſucceſſivè occupant.

Digitized by Google

AXIOMATA, SIVE

AXIOMATA,

SIVE

LEGES MOTUS.

LEX I.

(f) *Corpus omne perſeverare in ſtatu ſuo quieſcendi vel movendi uniformiter in directum, niſi quâtenus à viribus impreſſis cogitur ſtatum illum mutare.*

PRojectilia perſeverant in motibus ſuis, niſi quâtenus à reſiſtentiâ aëris retardantur, & vi gravitatis impelluntur deorſum. Trochus, cujus partes cohærendo perpetuò retrahunt ſeſe à motibus rectilineis, non ceſſat rotari, niſi quâtenus ab aëre retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus ſuos & progreſſivos & circulares in ſpatiis minus reſiſtentibus factos conſervant diutius.

LEX

(f) 24. Ex hâc primâ lege quam (9) demonſtravimus, ſequitur omnem motum eſſe naturâ ſuâ æquabilem & rectilineum, adeóque nec illius velocitatem retardari, nec directionem mutari, niſi aliquod obſtaculum mobili offeratur; Unde cùm projectilia motum ſuum ſenſim amittant, quærenda eſt aliqua hujuſce retardationis cauſa. Cum autem corpora projecta vel per medium reſiſtens deferantur, vel etiam ſuper aliorum corporum ſuperficies ſcabras incedant; & vi gravitatis deorſùm ſemper urgeantur, neceſſe eſt ut eam amittant motûs ſui partem quam in hiſce obſtaculis ſuperandis continuò abſumunt, ac proindè quo major vel minor erit medii reſiſtentia, eò majus vel minus decrementum accipiet corporis projecti velocitas. Ex his igitur patet majora planetarum & cometarum corpora nullam ſenſibilem in ſpatiis cœleſtibus experiri reſiſtentiam, cùm motus ſuos diutiſſime conſervent.

Digitized by Google

LEX II.

(c) *Mutationem motus proportionalem eſſe vi motrici impreſſæ, & fieri ſecundùm lineam rectam quâ vis illa imprimitur.*

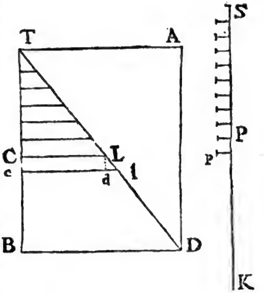
Si vis aliqua motum quemvis generet; dupla duplum, tripla triplum generabit, ſive ſimul & ſemel, ſive gradatim & ſucceſſivè impreſſa fuerit. Et hic motus (quoniam in eandem ſemper plagam cum vi generatrice determinatur) ſi corpus antea movebatur, motui ejus vel conſpiranti additur, vel contrario ſubducitur, vel obliquo obliquè adjicitur, & cum eo ſecundùm utriuſque determinationem componitur.

(c) 25. Si corpus vi activâ, qualis eſt vis gravitatis, ſecundùm eandem aut parallelam directionem continuò urgeatur, motus illius continuò acceleratur; nam per leg. 1., manet celeritas acquiſita, & per leg. 2. nova conſpiranti continuò additur. Si verò aliqua vis in corpus jam motum contrariâ directione perpetuò agat, motus illius continuò retardatur, per leg. 2. Si vis conſpirans continuò ac uniformiter agat, id eſt, ſi conſtans ſit, corpus eâ vi impulſum, æqualibus temporibus æqualia accipit celeritatis incrementa, ſeu motu uniformiter accelerato fertur, & celeritates vi illâ acquiſitæ, ſunt ut tempora quibus generantur. At ſi vis conſtans contrariâ directione in corpus motum continuò agat; æqualibus temporibus æqualia fient celeritatis decrementa, & corpus motu uniformiter retardato movebitur. Generaliter tandem, ſi corpus quieſcens quâlibet vi ſive conſtanti ſive variabili continuò urgeatur, & deinde eâ celeritate quam vis illius actione continuâ acquiſivit, contrà directionem vis illius reagentis projiciatur, ut veſtigia ſua relegat, corpus illud in itu & reditu ſuo eandem habebit celeritatem, ubi ad eadem viæ ſitæ puncta, eundo & redeundo pervenerit; adeoque motum redeundo non amittet, niſi cùm pervenerit ad punctum ex quo cœpit eundo moveri; nam eadem vis in itu & reditu corporis, æqualibus temporibus æquales celeritatis gradus generat & extinguit (8).

26. Corpora gravia in terræ viciniis, ſublatâ medii reſiſtentiâ motu uniformiter accelerato deſcendunt, & motu uniformiter retardato aſcendunt...... Demonſtratio .... Sublatâ medii reſiſtentiâ idem eſt ejuſdem corporis pondus, ſive eadem illius in ſubjectum planum preſſio, tum in vertice, tum in radice montis; eſt autem pondus, ſeu vis motrix (15) ut maſſa in vim gravitatis acceleratricem ducta: ergò cum ejuſdem corporis maſſa eadem in vertice & in radice montis permaneat, manebit etiam eadem vis acceleratrix gravitatis. Inſuper corpora gravia in radice & vertice montis æqualia ſpatia æqualibus temporibus percurrunt, ſublatâ aëris reſiſtentiâ, ut accuratiſſimis notum eſt experimentis (13): conſtans eſt igitur vis acceleratrix, & per lineas ad horizontem perpendiculares (3) uniformiter agit; gravia ergò motu uniformiter accelerato deſcendunt, & uniformiter retardato aſcendunt (25) Q. e. *D.*

Digitized by Google

27. Sublatâ medii reſiſtentiâ in terræ viciniis, ſpatia quæ corpus è quiete cadendo percurrit, ſunt ut quadrata temporum quibus percurruntur . . . . Dem. . . . . recta S K, repræſentet ſpatium quod grave cadendo percurrit T C, T c, T B, exponant tempora quibus deſcribuntur ſpatia S P, S p, S K; & C L, c l, B D, ad T B, normales, exhibeant celeritates temporibus T C, T c, T B, per ſpatia S P, S p, S K, acquiſitas; quia in motu uniformiter accelerato, celeritates ſunt ut tempora, (25), erit T C : T c = C L : c l; & T C : T B = C L : B D, adeóque recta, T D, tranſit per puncta L, & l, & triangula T C L, T c l, T B D, ſimilia ſunt. Jam fingamus lineam, c l, motu ſibi ſemper parallelo ità accedere ad lineam C L, ut tandem cum ipsâ coincidat; evaneſcente tempuſculo C c, celeritas, c l, non differet à celeritate C L, adeóque per tempuſculum infinitè parvum ſeu evaneſcens C c, celeritas C L, uniformis cenſeri poteſt. Porrò ſpatia motu æquabili deſcripta ſunt ut celeritas in tempus ducta (5), ergò ſpatium P p, quod tempuſculo, C c, percurri ſupponimus, eſt ut rectangulum, C L, × C c = C d; quare ſi totum tempus, T C, in tempuſcula innumera ut C c, diviſum concipiatur, & ſimiliter ſpatium, S P, tempore T C, percurſum in totidem ſpatiola evaneſcentia, ſingulis tempuſculis correſpondentibus percurſa dividatur, erit ſumma rectangulorum C d, hoc eſt area trianguli T C L, ut ſumma ſpatiolorum P p, id eſt ut S p; & eodem modo demonſtratur aream trianguli T B D, eſſe ut ſpatium S K, tempore T C, percurſum. Eſt igitur triangulum T C L : T B D = S P : S K. Sed triangulorum ſimilium areæ T C L, T B D, ſunt ut quadrata laterum homologorum, ergò S P, ad S K, ut quadratum temporis T C, ad quadratum temporis T B. Q. e. D.



28. Coroll. 1 . . . . Cum velocitates acquiſitæ, ſint ut tempora (25) erunt etiam ſpatia percurſa ut quadrata velocitatum, & tam velocitates quam tempora erunt inter ſe in ratione ſubduplâ ratâ ſpatiorum.

29. Coroll. 2 . . . . Si grave è quiete cadens, dato tempore percurrat ſpatium, 1, duplo tempore percurret ſpatium, 4, triplo ſpatium, 9, &c. hoc eſt, ſi tempora ab initio motûs computata ſumantur in progreſſione numerorum naturalium, 1, 2, 3, 4, 5. ſpatia his temporibus deſcripta, erunt ut termini progreſſionis numerorum quadratorum. 1, 4, 9, 16, 25 &c. ſpatia verò ſingulis temporibus ſeorſim ſumptis percurſa, erunt ut termini progreſſionis numerorum imparium. 1, 3, 5, 7, 9 &c. nam cùm ſpatium 1°. tempore percurſum ſit, 1, duplo tempore ſit, 4; ſpatium ſecundo tempore ſeorſim ſumpto deſcriptum, erit 4−1 ſeu 3, & ità de cæteris. Undè ſpatia motu uniformiter retardato deſcripta temporibus æqualibus ſecundùm numeros impares retrogrado ordine decreſcunt. (25)

30. Coroll. 3 . . . . ſpatium S K, quod grave è quiete cadendo, tempore T B, percurrit, eſt ſubduplum ſpatii quod eodem tempore uniformiter percurri poteſt, cum velocitate B D, tempore T B, per ſpatium S K, acquiſitâ. Nam comparetur rectangulum T B D A, & ſpatium quod uniformi celeritate B D, tempore T B, deſcribitur, erit ut rectangulum T B D A (25). Cum ergò (27) ſpatium S K, ſit ut triangulum T B D, ſubduplum rectanguli T B D A, erit ſpatium S K, dimidium ſpatii quod uniformi celeritate B D, tempore T B, percurritur.

31. Co-

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

([a]) LEX III.

Actioni contrariam ſemper & æqualem eſſe reactionem : ſive corporum duorum actiones in ſe mutuo ſemper eſſe æquales & in partes contrarias dirigi.

Quicquid premit vel trahit alterum, tantundem ab eo premitur vel trahitur. Si quis lapidem digito premit, premitur & hujus digitus à lapide. Si equus lapidem funi alligatum trahit, retrahetur etiam & equus (ut ita dicam) æqualiter in lapidem : nam funis utrinque diſtentus eodem relaxandi ſe conatu urgebit equum verſus lapidem, ac lapidem verſus equum; tantumque impediet progreſſum unius quantum promovet progreſſum alterius. Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi ſuâ quomodocunque mutaverit, idem quoque viciſſim in motu proprio eandem mutationem in partem contrariam vi alterius (ob æqualitatem preſſionis mutuæ) ſubibit. His actionibus æquales fiunt mutationes, non velocitatum, ſed motuum; ſcilicet in corporibus non aliunde impeditis. Mutatio-

31. Coroll. 4 . ∵ . celeritas B D, motu uniformiter accelerato acquiſita, eſt ſemper (5) ut duplum ſpatium percurſum 2 S K, applicatum ad tempus T B, quo percurritur, ſeu ut 2 S K : T B. Quare ſi vis acceleratrix conſtans dicatur G; ſpatium percurſum S; tempus quo percurritur T; erit $GT = 2S : T$ (13) adeóque $GT^2 = 2S$, ſeu vis acceleratrix conſtans in quadratum temporis ducta, eſt ut duplum ſpatium eodem tempore vis illius actione deſcriptum.

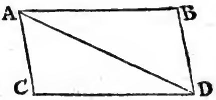
([a]) 32. Hæc notiſſima naturæ Lex innumeris confirmata experimentis, ex ipsâ materiæ inertiâ clarè ſequitur. Ut autem omnis tollatur ambiguitas, nihil aliud per hanc legem intellectum volumus, niſi æquales fieri in corpore agente & patiente ſtatûs mutationes; cùm enim nulla poſſit eſſe actio corporis in aliud corpus, quin mutua fiat horumce corporum colliſio (8), mutatio ſtatûs æqualiter in utroque corpore recipi debet; undè licet actioni æqualis ſemper ſit & contraria reactio, non idcircò tamen inter corpus agens & patiens fieri debet æquilibrium, idque Newtoniano exemplo manifeſtum eſt; ſi equi lapidem trahentis conatus ſeu vis activa major ſit vi quâ lapis per gravitatem ſuam, plani ſcabritiem, mediique reſiſtentiam, equo trahenti reluctatur, equus lapidem trahet cum eâ totius ſuæ vis parte, quæ poſt ſuperatam lapidis gravitatem, plani ſcabritiem, mediique reſiſtentiam, ipſi reſidua eſt; ſi autem totus trahentis equi conatus hiſce tribus reſiſtentiis minor ſit, vel ſi ipſis ſit æqualis, equus lapidem non movebit. Quare totus ac integer lapidis renixus qui componitur ex ipſius gravitate, plani ſcabritie, reſiſtentiâ medii & inertiâ quæ lapidi etiam omnibus aliis viribus deſtituto ineſt, actioni equi lapidem trahentis eſt ſemper æqualis.

Digitized by Google

tiones enim velocitatum, in contrarias itidem partes factæ, quia motus æqualiter mutantur, ſunt corporibus reciprocè proportionales. Obtinet etiam hæc Lex in Attractionibus, ut in Scholio proximo probabitur.

COROLLARIUM I.

Corpus viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi eodem tempore deſcribere, quo latera ſeparatis.



Si corpus dato tempore, vi ſolâ M in loco *A* impreſsâ, ferretur uniformi cum motu ab *A* ad *B*; & vi ſolâ N in eodem loco impreſsâ, ferretur ab *A* ad *C*: compleatur parallelogrammum *A B D C*, & vi utráque feretur corpus illud eodem tempore in diagonali ab *A* ad *D*. Nam (b) quoniam vis N agit ſecundum lineam *A C* ipſi *B D* parallelam, hæc vis per Legem II. nihil mutabit velocitatem accedendi ad lineam illam *B D* à vi alterâ genitam. Accedet igitur corpus eodem tempore ad lineam *B D*, ſive vis N imprimatur, ſive non; (c) atque ideo in fine illius temporis reperietur alicubi in lineâ illâ *B D*. Eodem argu-

(b) 33. Quoniam vis *N*, agit ſecundùm lineam A C, ipſi B D, parallelam, hæc vis, (per leg. 2) nihil niſi velocitatem ſecundùm lineam ipſi B D, parallelam producet, ac proindè non mutabit velocitatem accedendi ad lineam illam B D, à vi alterâ genitam; cum corpus iners duabus hiſce viribus ac directionibus ſimul obſequi poſſit, & (per leg. 1.), debeat, atque hic ſupponatur vires *M*, & *N*, in mobile eodem modo ſimul agere ac ſi ſingulæ ſeorſim in illud quieſcens imprimerentur.

(c) 34. Idcircò cum in fine ejuſdem temporis, corpus quod hîc tanquam punctum conſideratur, ſimul eſſe debeat in utraque lineâ C D, & B D, in utriúſque lineæ concurſu E, reperiatur neceſſe eſt; quia autem initio & fine temporis dati corpus reperitur in rectâ A D, nempè primùm in A, & deindè in D, toto tempore dato motum fuit per lineam A D, nam ex duobus punctis A, & D, datis, recta, A D, poſitione data eſt; & corpus quibuſlibet viribus impulſum, ceſſante virium actione, movetur uniformiter in directum ſecundùm ultimam directionem ex viribus impreſſis reſultantem, (per *Leg.* 1, & 9).

35. Motus compoſitus per diagonalem A D, motibus per latera A B, A C, disjunctis non eſt æqualis, ſed tantùm æquipollet. Nam cum eadem ſit corporis maſſa, motûs quantitates per diagonalem & per latera ſunt ut velocitates uniformes (6) ſeu ut ſpatia A D, A B, A C, eodem tempore percurſa (5); eſt autem ſum-

Digitized by Google

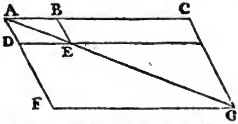
AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

ſumma laterum A B + A C, major diagonali A D; ergo ſumma quantitatum motûs per latera, major eſt quantitate motûs per diagonalem. Verùm quia idem eſt motus, ſive mobile per diagonalem A D, celeritate æquabili ut A D, ex vi unicâ impreſsâ feratur, ſive viribus conjunctis per latera A B, A C, impellatur, liquet motum per diagonalem, motibus per latera disjunctis æquivalere.

Si mobile à pluribus quàm duabus viribus in loco A, ſimul impreſſis impellatur, inveniri ſemper poterit unica directio & velocitas ex omnibus ſeparatis compoſita ipſiſque æquipollens, quæ *media directio* dicitur; duarum enim virium media directio reperiatur (per coroll. 1. *Newt.*); deinde diagonalis illa tanquam ſpatium vi unicâ percurſum conſideretur, & cum ſpatio tertiâ vi deſcripto pari ratione componatur, ſicque vires omnes ad unicam reducentur.

37. Motus omnis in quotcumque alios laterales ipſi æquipollentes reſolvi poteſt; nam motus per A D, æquabilis, facto triangulo quocumque A B D, reſolvitur in motus per latera A B, A C, motui per diagonalem A D, æquipollentes (35). Eâdem ratione motus per A B, in duos quoſcumque alios, deſcripto circà latus A B, triangulo reſolvitur, idemque de motu per A C, & de aliis quibuſcumque motibus dici debet.

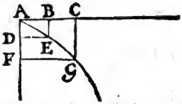
38. Si corpus aliquod A, duplici vi per A C, & per A F, ità urgeatur, ut motus in eâdem ratione acceleretur vel retardetur, ſive quod idem eſt, ſi ſpatia A B, & A D, A C, & A F, iiſdem temporibus percurſa, ſemper ſint in conſtanti ratione, motu compoſito parallelogrammi diagonalem A G, deſcribet....



Dem... Ductis D E ad A B, & B E ad A D, parallelis, corpus conjunctis viribus motum, reperiri debet ſimul in utrâque lineâ D E, & E B, (34) adeóque in earum interſectione E; ſimiliter ductis F G, ad A C, & C G, ad A F, parallelis, patet corpus motu compoſito eodem tempore reperiri in G, quo motibus disjunctis attingeret puncta C, & F; cum igitur (ex hyp.) ſit A D, ad A B, ſeu D E, ut A F, ad A C, ſeu F G, recta A E, producta tranſit per punctum G; ergò corpus per diagonalem rectam A G, incedet. Q. e. D.

39. Si ſpatia ſecundùm unam directionem percurſa non ſint ſemper in eâdem ratione cum ſpatiis juxta alteram directionem iiſdem temporibus deſcriptis, mobile per eandem diagonalem rectam progredi non poteſt; ſi autem ratio ſpatiorum viribus ſeparatis iiſdem temporibus deſcriptorum continuò mutetur, mobile per curvam incedet, ut ſi motus uniformis cum motu continuè accelerato vel retardato componatur.

40. Corpus grave ſecundùm quamlibet directionem A C, quæ non ſit ad horizontem normalis projectum, in terræ viciniis, ſublatâ medii reſiſtentiâ, parabolam A E G, deſcribit, cujus diameter A F, eſt ad horizontem perpendicularis, & tangens A C, directio projectionis....

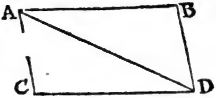


Dem... Solâ vi projectionis impreſsâ, grave uniformiter movetur per rectam A C, (per leg. 1.), ſolâ vi gravitatis motu uniformiter accelerato per rectam A F, aut ipſi parallelam deſcendit (26); quoniam verò motus per A C, æquabilis eſt, ſpatia A B, A C, ſunt ut tempora quibus percurruntur (5). Spatia A D, A F, motu uniformiter accelerato iiſdem temporibus deſcripta, ſunt ut quadrata temporum quibus deſcribuntur (27), ſeu ut quadrata rectarum A B, A C, aut ipſis parallelarum & æqualium D E, F G: cum igitur grave motu compoſito latum in fine temporum A B, A C, reperiatur in punctis E, & G, (34) evidens eſt quadrata ordinatarum D E, F G, curvæ A E G, (39) eſſe inter ſe in ratione abſciſſarum A D, A F, adeóque curvam A E G, eſſe parabolam, (per 20^{am}. lib. 1. Conic. *Apollon.*) cujus diameter A F, & tangens A C ordinatis D E, F G (32. prop. lib. 1. Conic. *Apollon.*) Q. e. D.

Digitized by Google

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

argumento in fine temporis ejuſdem reperietur alicubi in lineâ *CD*, & idcirco in utriuſque lineæ concurſu *D* reperiri neceſſe eſt. Perget autem motu rectilineo ab *A* ad *D* per Legem 1^am^.

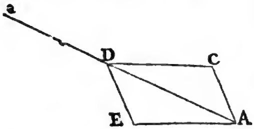


COROLLARIUM II.

Et hinc patet ([d]) *compoſitio vis directæ* AD *ex viribus quibuſvis obliquis* AC *&* CD, *&* *viciſſim reſolutio vis cujuſvis directæ* AD *in obliquas quaſcunque* AC *&* CD. *Quæ quidem compoſitio & reſolutio abundè confirmatur ex Mechanicâ.*

Ut ſi de rotæ alicujus centro *O* exeuntes radii inæquales *O M*, *O N* filis *MA*, *NP* ſuſtineant pondera *A* & *P*, & quæ-

(d) 41. Quæ de motuum compoſitione & reſolutione dicta ſunt, ad vires mortuas poſſunt transferri. Si corpus ſeu punctum D, viribus mortuis, ſeu, ut loquuntur Mechanici, potentiis DE, DC, juxta directiones DE, DC, agentibus trahatur vel impellatur, & completo parallelogrammo EC, ducatur diagonalis DA, vires DC, DE, vi mediæ, ut DA, juxtà directionem DA, agenti æquivalent....



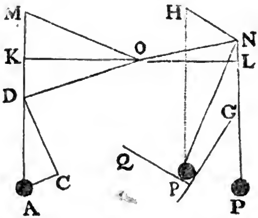
Dem.... vis ſeparata DC, conſiderari poteſt tanquam vis acceleratrix quæ in corpus D, juxtà directionem DC, continuò & uniformiter agit, & vis illa eſt ut celeritas quam dato tempore generat aut generare poteſt (13), adeòque illa celeritas per rectam DC, exponetur, cum ea recta ſit ut vis ipſa DC, (*per hyp.*) ſimili argumento liquet rectam ED, eſſe ut celeritatem vi agente per DE eodem tempore dato generandam. Cum igitur celeritates DE, DC, in mediam, DA, æquipollentem componantur (per Coroll. 2. *Newt.*) manifeſtum eſt vires quoque laterales DE, DC, in mediam æquipollentem DA, (35) componi, atque adeò vim ut DA, in laterales DE, DC, æquivalentes reſolvi poſſe. Quare (35. 36) vires quotcumque laterales in unam æquivalentem componi poſſunt, & vis quælibet in alias quaſcumque ipſi ſimul æquipollentes poteſt reſolvi.

42. Producatur AD, ad a, ità ut DA, & Da, æquales ſint, & vis, ut Da, juxtà directionem DA, urgeat punctum D; punctum illud D, duabus viribus DA, æqualibus & contrariis ſollicitatum, immotum permanebit; ſed vis media DA, æquivalet viribus ſeparatis DE, DC, (41), ergò ſi punctum D, ſublatâ vi, DA, tribus viribus Da, DE, DC, urgeatur, non movebitur, ſed erit inter vires æquilibrium.

43. Si punctum D, tribus viribus Da, DE, DC, in æquilibrio conſtitutis urgeatur, com-

Digitized by Google

quærantur vires ponderum ad movendam rotam: Per centrum *O* agatur recta *KOL* filis perpendiculariter occurrens in *K* & *L*, centroque *O* & intervallorum *OK*, *OL* majore *OL* deſcribatur circulus occurrens filo *MA* in *D*: & actæ rectæ *OD* parallela ſit *AC*, & perpendicularis *DC* [e]. Quoniam nihil refert, utrum filorum puncta, *K*, *L*, *D* affixa ſint, an non affixa ad planum rotæ; pondera idem valebunt, ac ſi ſuſpenderentur à punctis *K* & *L* vel *D* & *L*. Ponderis [f] autem *A* exponatur vis tota per lineam *AD*, & hæc reſolvetur in vires *AC*, *CD*, quarum *AC* trahendo radium *OD* directè à centro



completo parallelogrammo EC, recta a D, producta, per angulum A, tranſit, eſtque DA = Da, parallelogrammi diagonalis, & vires ſunt ut latera trianguli DAC, nempè ut DA, AC, ſeu ED, DC.... *Dem*.... Ductâ diagonali DA, parallelogrammi EC, vis media ut DA, æquipollet viribus per latera DE, DC, (41); ſi virium directiones DA, Da, non eandem efficiant lineam rectam, aliquem angulum in D, continent, ac proindè punctum D, à viribus ſibi invicem directè non oppoſitis impulſum moveri debet (contrà hyp.); ſi verò potentiæ illæ DA, Da, non ſint æquales, major minorem ſuperat, motuſque oritur (etiam contrà hyp.). Ergò recta AD, producta, per angulum A, tranſit, eſtque DA = Da, parallelogrammi diagonalis, & quia AC = DE, vires ſunt ut latera trianguli DAC. Q. e. D.

44. Cùm latera trianguli ſint ut ſinus angulorum oppoſitorum, erit vis Da, ſeu DA, ad vim DC, ut ſinus anguli ACD, ſeu complementi illius EDC, ad ſinum anguli DAC, ſeu ADE, ſeu complementi illius EDa; ſimiliter demonſtratur eſſe aD, ad ED, ut ſinus anguli EDC, ad ſinum anguli aDC. Si igitur tres potentiæ in æquilibrio circà punctum quodvis D, conſiſtentes, dicantur ut libet 1^{a}, 2^{a}, 3^{a}, erit 1^{a}, ad 2^{am}, ut ſinus anguli quem $2^{æ}$ & $3^{æ}$ potentiarum directiones comprehendunt, ad ſinum anguli quem $1^{æ}$ & $3^{æ}$ directiones formant. Omnes illas de virium & motuum compoſitione & reſolutione demonſtrationes accuratiſſimis confirmavit experimentis Clariſſ. *Graveſandius* in Elementis Phyſices.

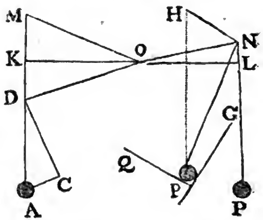
(e) 45. Planum rotæ gravitatis expers & circà centrum fixum O, (fig. *Newt.*), mobile ſupponitur, fila quoque gravitate deſtituta finguntur; cumque eadem ſit in variis à terrâ diſtantiis corporis gravitas (26) eademque proindè fili longioris vel brevioris quo pondus idem ſuſpenditur tenſio, evidens eſt planum rotæ iiſdem ſemper viribus trahi, ſive fila punctis M, & N, ſive aliis quibuſvis K, D, aut L, in filis MA, NP, ſumptis affixa ſint. Pondera igitur à punctis M, & N, ſuſpenſa idem valebunt ac ſi ſuſpenderentur à punctis K & L, vel D & L.

(f) 46. Ponderis A, quo punctum D, trahitur, vis tota DA, reſolvi poteſt (41) in vires laterales & æquipollentes

Digitized by Google

Axiomata, ſive Leges Motus.

tro nihil valet ad movendam rotam; vis autem altera *DC*, trahendo radium *DO* perpendiculariter, idem valet ac ſi perpendiculariter traheret radium *OL* ipſi *OD* æqualem; hoc eſt, idem atque pondus *P*, ſi modo pondus illud ſit ad pondus *A* ut vis *DC* ad vim *DA*, id eſt (ob ſimilia triangula *ADC*, *DOK*,) ut *OK* ad *OD* ſeu *OL*. Pondera igitur *A* & *P*, quæ ſunt reciprocè ut radii in directum poſiti *OK* & *OL*, idem pollebunt, & ſic conſiſtent in æquilibrio: quæ eſt proprietas notiſſima (s) Libræ, Vectis, & Axis in Peritrochio. Sin pondus alterutrum ſit majus quàm in hac ratione, erit vis ejus ad movendam rotam tanto major. Quod



A C, & D C, itâ ut punctum D, urgeatur ſimul vi ut D C, ſecundùm directionem D C, & vi ut C A, ſecundùm directionem rectæ O D, productæ; quia verò centrum O, rotæ fixum ſupponitur, vis ut A C, trahendo punctum O, juxtà directionem radii O D, nullum motum creat, nihilque valet ad rotam circà centrum O, movendam; vis autem altera D C, trahendo radium D O perpendiculariter, idem valet ad rotam circà centrum O, volvendam, ac ſi perpendiculariter traheret alterum radium O L, ipſi O D, æqualem; vires enim æquales æqualibus radiis pariter applicatæ eodem modo rotam movere debent; ſi itaque pondus aliquod P, è puncto L, ſuſpenſum ſit vi D C, æquale, ſeu, quod idem eſt, ſi pondus P, ſit ad pondus A, ut recta D C, ad rectam D A, quæ exponit vim abſolutam ponderis A, rota his duabus viribus A, & P, in partes contrarias æqualiter tracta non movebitur. Verùm in triangulis A D C, D O K, anguli D A C, & K D O, ob parallelas A C, D O, & præterea anguli ad K & C recti, æquales ſunt, adeòque triangula illa ſunt ſimilia & D C : D A = O K : D O, ſeu O L; pondera igitur A, & P, quæ ſunt reciprocè ut radii in directum poſiti O K, & O L, ſeu quæ ſunt reciprocè ut perpendiculares O K, & O L, ex centro O, in eorum directiones ductæ idem pollebunt, & ſic conſiſtent in æquilibrio.

(s) 47. Sit K L, recta inflexilis & gravitatis expers circà punctum fixum ſeu fulcrum O, volubilis, hæc vectem & libram exhibet, atque etiam peritrochium circa axem volubile poteſt exponere, ſeu rotam cujus eſt radius longior O L, & centrum O, circà quod rota & cylindrus cujus eſt radius brevior O K, revolvi poſſunt; ex demonſtratis autem (46) patet eſſe in his tribus machinis æquilibrium, cum potentiæ ſeu pondera A, & P, ſunt inter ſe reciprocè, ut rectæ à centro O, ad eorum directiones normaliter ductæ. Sin pondus alterutrum ſit majus quàm in hac ratione, erit vis ejus ad movendam rotam tantò major; nam, manente diſtantiâ O L, vis ponderis P, ad movendam rotam, eſt ut pondus P abſolutum, & manente pondere P, creſcit vis illius ad movendam rotam in ratione diſtantiæ directionis ponderis à centro; duplicatâ enim vel triplicatâ illâ diſtantiâ, pondus idem P, eſt in æquilibrio cum duplo vel triplo pondere, cujus diſtantia directionis à centro eſt ſubdupla vel ſubtripla (46). Ergò in his tribus machinis vis potentiæ ſeu pon-

Digitized by Google

Quòd ſi pondus *p* ponderi *P* æquale partim ſuſpendatur filo *Np*, partim incumbat plano obliquo *pG*: agantur *pH*, *NH*, prior horizonti, poſterior plano *pG* perpendicularis: & ſi vis ponderis *p* deorſum tendens, exponatur per lineam *pH*, reſolvi poteſt hæc in vires *pN*, *HN*. Si filo *pN* perpendiculare eſſet planum aliquod *pQ*, ſecans planum alterum *pG* in linea ad horizontem parallela; & pondus *p* his planis *pQ*, *pG* ſolummodo incumberet; urgeret illud hæc plana viribus *pN*, *HN* perpendiculariter, nimirum planum *pQ* vi *pN*, & planum *pG* vi *HN*. Ideoque ſi tollatur planum *pQ*, ut pondus tendat filum; quoniam filum ſuſtinendo pondus jam vicem præſtat plani ſublati, tendetur illud eâdem vi *pN*, quâ planum antea urgebatur. Unde tenſio fili hujus obliqui erit ad tenſionem fili alterius perpendicularis *PN*, ut *pN* ad *pH*. (h) Ideoque ſi pondus *p* ſit ad pondus *A* in ratione quæ componitur ex ratione reciprocâ minimarum diſtantiarum filorum ſuorum *pN*, *AM* à centro rotæ, & ratione directâ *pH* ad *pN*; pondera idem valebunt ad rotam movendam, atque ideò ſe mutuò ſuſtinebunt, ut quilibet experiri poteſt.

Pondus autem *p*, planis illis duobus obliquis incumbens, rationem habet cunei inter corporis fiſſi facies internas: & inde vires cunei & mallei innoteſcunt: utpote cùm vis quâ pondus *p* urget planum *pQ*, ſit ad vim, quâ idem vel gravitate ſuâ vel ictu mallei impellitur ſecundum lineam *pH* in plana, ut *pN* ad *pH*; atque ad vim, quâ urget planum alterum *pG*, ut *pN* ad *NH*. Sed & vis Cochleæ per ſimilem virium diviſio-

ponderis ad movendam machinam circà centrum motûs, eſt ſemper in ratione compoſitâ ponderis abſoluti ſeu intenſitatis potentiæ, & diſtantiæ directionis illius à centro motûs. Vim autem illam ponderis aut potentiæ ad machinam movendam *momentum potentiæ* aut *ponderis* vocant Mechanici.

(h) 48. Vis quâ pondus p, tendit filum obliquum pN, dicatur π, & normalis ex centro O, in filum pN, ducta dicatur n, & erit ex demonſtratis $\pi : P$, ſeu p, $= pN : pH$. Prætereà ſi vis π, in æquilibrio cum pondere A, conſiſtat, erit etiam (47) $A : \pi = n : KO$; undè per compoſitionem rationum erit $A \times \pi : p \times \pi = n \times pN : KO \times pH$, ſeu $A : p = n \times pN : KO \times pH$; & $p : A = KO \times pH : n \times pN$; ideóque ſi pondus p, ſit ad pondus A, in ratione quæ componitur ex ratione reciprocâ minimarum diſtantiarum, n, & KO, filorum ſuorum pN, AM à centro rotæ, & ratione directâ pH, ad pN, erit æquilibrium.

Digitized by Google

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

viſionem colligitur; quippe quæ cuneus eſt à vecte impulſus. [i] Uſus igitur Corollarii hujus latiſſimè patet, & latè patendo veritatem ejus evincit; cùm pendeat ex jam dictis Mechanica tota ab Auctoribus diverſimodè demonſtrata. Ex hiſce enim facilè derivantur vires Machinarum, quæ ex Rotis, Tympanis, Trochleis, Vectibus, nervis tenſis & ponderibus directè vel obliquè aſcendentibus, cæteriſque potentiis Mechanicis componi ſolent, ut & vires Tendinum ad animalium oſſa movenda.

COROLLARIUM III.

Quantitas motus quæ colligitur capiendo ſummam motuum factorum ad eandem partem, & differentiam factorum ad contrarias, non mutatur ab actione corporum inter ſe.

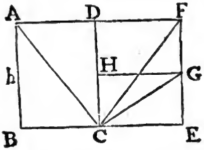
Etenim actio eique contraria reactio æquales ſunt per Legem III, adeoque per Legem II æquales in motibus efficiunt mutationes verſus contrarias partes. Ergo ſi motus fiunt ad eandem partem; quicquid additur motui corporis fugientis, ſubducetur motui corporis inſequentis ſic, ut ſumma maneat eadem quæ priùs. Sin corpora obviam eant; æqualis erit ſubductio de motu utriuſque, ideoque differentia motuum factorum in contrarias partes manebit eadem. [k] Ut

[i] 49. Cunei & cochleæ vires totamque ferè mechanicam hiſce theorematibus demonſtravit Clariſſ. *Varignonius*. Quàm latè pateat eorum uſus manifeſtum eſt ex præclaro opere Joannis Alphonſi Borelli de motibus animalium, & ex variis, inter quas Bernoullianæ eminent, de muſculorum motu diſſertationibus; ſed hæc fuſiùs proſequi præſentis non eſt inſtituti; in proximo ſcholio machinarum vires generali mechanicæ principio determinare ſatis erit; ut autem ea quæ nobis illuſtranda occurrent in meliori lumine collocentur, generales motuum leges, ne omiſſis quidem definitionibus, præmittendas eſſe judicavimus.

[k] 50. Corpus perfectè elaſticum dicitur cujus partes ex ictu flectuntur, ſeu introcedunt, & deindè eâdem vi quâ flexæ ſunt, ſeſe in priorem ſtatum contrariâ directione reſtituunt. Corpus imperfectè elaſticum eſt cujus partes ex ictu flexæ in priorem quidem ſtatum redire nituntur, ſed minori vi eâ quâ flexæ ſunt. Corpus non elaſticum vocatur cujus partes ictu percuſſæ nullâ vi ſeſe reſtituere conantur. Corpus unum in alterum directè impingere dicitur, ſi ſecundùm rectam ad contactum perpendicularem impingat; obliquè verò ſi ſecundùm rectam ad contactum obliquam. Cùm corpora in ſe mutuò non agant, niſi per maſſam & velocitatem, tanquam axioma ex legibus 2â & 3â notiſſimum innumeriſque confirmatum experimentis ſupponimus quantitates motûs æquales & contrarias in conflictu ſibi mutuò æquipollere.

51. Si

Digitized by Google



51. Si globus A, in planum immobile B E, incurrat, quæritur illius motus poſt impactum .... 1°. Globus ille in planum directè impingat per A B; ſi globus & planum omni elaſticitate deſtituantur, globi motus poſt impactum in B, omninò extinguitur, cùm nulla vis globum repellat; ſi autem planum & globus perfecto elatere doncntur, globus per B A, poſt impactum reſiliet eâdem quâ advenit celeritate B A; nam in corporibus perfectè elaſticis (50) vis reſtitutiva æqualis eſt vi compreſſivæ, undè ſi imperfecta fuerit vis elaſtica, globus minori velocitate B h, reſiliet .... 2°. Globus A, in planum B E, velocitate & directione A C, obliquè impingat, illius motus reſolvatur in motus laterales quorum unus A D, ſit plano B E, parallelus, alter autem A B, eidem plano perpendicularis (37), globus A, motu ſecundùm A D, ad planum non accedit, ſed tantùm motu ſecundùm perpendicularem A B, vel D C; velocitas globi reſpectu plani B E, eſt tantùm ut perpendicularis A B; at verò ſi A C, foret perpendicularis ad planum B E, velocitas quâ ad planum accederet, foret ut A C, ergò cùm impetus ejuſdem corporis in planum, ſint ut velocitates quibus ad planum accedit, ictus obliquus eſt ad perpendicularem, ut A B, ad A C; ſeu ſumptâ A C, tanquam radio, ut ſinus anguli incidentiæ A C B, ad ſinum totum ..... 3°. Si nulla ſit in corporibus A, & B E, elaſticitas, globus A, per A C, incurrens movebitur per C E, celeritate ut C E = A D; nam motus perpendicularis A B, vel D C, ex demonſtratis, extinguitur, remanetque tantùm motus C E, cui planum ut potè parallelum non opponitur; ſi verò perfectum fuerit elaterium, reſiliet globus per C F, celeritate C F = A C, & angulus reflexionis F C E, æqualis erit angulo incidentiæ A C B; nam per vim reſtitutivam elateris reſilit per normalem C D, celeritate C D, ſeu B A, & prætereà motu ad planum parallelo progreditur per C E, celeritate ut C E = A D, ergò motu compoſito (coroll. 1. *Newt.*) percurret diagonalem C F; & cum in parallelogrammis D B, D E, omnia ſint paria, erit F C = A C, & angulus F C E, = A C B. Tandem ſi corpora imperfectè fuerint elaſtica, manebit quidem poſt impactum velocitas A D, ſeu C E, plano parallela, ſed velocitas perpendicularis C H, minor erit velocitate D C, ſeu A B, & completo parallelogrammo H E, globus per diagonalem C G, reſiliet.

52. Si globi non elaſtici in ſe mutuò directè impingant, quæritur illorum motus poſt conflictum..... 1°. Globi in eandem plagam ferantur, ſubſequens fugientem impellet, donec ambo ſimul tanquam unum corpus eâdem directione ac velocitate incedant, eritque (coroll. 3. *Newt.*), ſumma quantitatum motûs eadem antè & poſt conflictum; communis ergò poſt conflictum velocitas invenitur, ſummâ quantitatum motûs antè conflictum per ſummam maſſarum diviſâ (6).... 2°. Globi contrariis directionibus ſibi mutuò occurrant, ſi æqualis in utroque fuerit motûs quantitas, poſt conflictum ambo quieſcunt (50). Si verò inæquales ſint motûs quantitates, per conflictum extinguitur in ſingulis quantitas motûs globi debiliùs moti (50), & ambo ſimul poſt impactum communi velocitate ac directione quaſi unicum corpus progrediuntur, eſtque quantitas motûs in utroque ſimul reſidua, differentiæ quantitatum motûs antè conflictum æqualis (coroll. 3. *Newt.*) Hinc communis poſt conflictum velocitas habetur, ſi differentia illa quantitatum motûs antè conflictum ad ſummam maſſarum applicetur (6). In hoc utroque caſu communis poſt conflictum velocitas in globi cujuſque maſſam ducta, eſt illius quantitas motûs poſt impactum (6), ex quâ & quantitate motûs ejuſdem globi ante conflictum, per ſubtractionem invenitur quantitas motûs in conflictu acquiſita vel amiſſa; quia verò in omni globorum non elaſticorum conflictu directo, vel motus omnis ceſſat, vel globi poſt impactum communi celeritate feruntur, manifeſtum

eſt

Digitized by Google

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

(l) Ut ſi corpus ſphæricum *A* ſit triplo majus corpore ſphærico *B*, habeatque duas velocitatis partes; & *B* ſequatur in eâdem rectâ cum velocitatis partibus decem, ideoque motus ipſius *A* ſit ad motum ipſius *B*, ut ſex ad decem: ponantur motus

eſt, reſpectivam globorum velocitatem per conflictum extingui.

53. Globi elaſtici in ſe invicem directè incurrant, quæritur eorum motus poſt conflictum . . . . . 1°. Mutatio quæ ex mutuo corporum perfectè elaſticorum conflictu in utriúſque corporis motu naſcitur, dupla eſt mutationis quam ictus idem in iiſdem corporibus omni elaterio deſtitutis produceret,) in corporibus imperfectè tantùm elaſticis mutatio major eſt quàm in non elaſticis, ſed duplâ minor.) Nam partes in utroque corpore æquali vi ex ictu comprimuntur (Leg. 3.) Si corpora omni elatere deſtituerentur, poſt conflictum vel quieſcerent, vel in eandem plagam velocitate communi progrederentur (52) nec partes flexæ reſtituerentur; ſi autem accedat vis elaſtica, partes flexæ ſeſe reſtituent vi & directione (50) quæ ſemper contraria erit vi compreſſivæ, & in corporibus perfectè elaſticis huic æqualis, in aliis minor; actio igitur corporum in ſe mutuò ex elateris reſtitutione orta, actioni ex impactu naſcenti æqualis eſt in corporibus perfectè elaſticis, minor in aliis, ex quibus & *Lege* 2ª conſtat quod erat primò propoſitum . . . . 2°. Corpora perfectè elaſtica eâdem velocitate reſpectivâ poſt conflictum recedunt, quâ antè conflictum ad ſe invicem accedebant; in corporibus verò imperfectè tantùm elaſticis, velocitas reſpectiva quâ poſt ictum diſcedunt, eſt ad velocitatem quâ antè ictum ad ſe mutuò accedebant, in ratione vis reſtitutivæ ad vim compreſſivam; nam cùm in conflictu corporum non elaſticorum omnis velocitas reſpectiva, quâ ad ſe mutuò accedebant, deſtruatur ex ictu (52), ſitque vis reſtitutiva elateris perfecti vi compreſſivæ æqualis & contraria, manifeſtum eſt in corporum perfectè elaſticorum conflictu, velocitatem reſpectivam ex ſolo impactu amiſſam, contrariâ directione reſtitui; in corporibus verò imperfectè elaſticis eam tantùm reſtitui velocitatis reſpectivæ partem, quæ eſt vi reſtitutivæ proportionalis . . . . 3°. Ut igitur corporum perfectè elaſticorum motus poſt conflictum directum inveniatur, conſiderentur corpora tanquam omni elatere deſtituta, & in eâ hypotheſi quæratur (52) quantitas motûs ex conflictu in unoquoque corpore acquiſita vel amiſſa ſecundùm eam directionem quâ corpus ante conflictum movebatur, eadem motûs quantitas duplicata, erit quantitas motûs in corpore perfectè elaſtico acquiſita vel amiſſa, quæ proindè quantitati motûs corporis antè conflictum addita vel dempta, dat quantitatem motûs illius corporis poſt conflictum . . . . . 4°. Corporum imperfectè elaſticorum motus poſt conflictum invenitur, ſi data ſit ratio vis reſtitutivæ elateris ad vim compreſſivam, ſive, quod ex demonſtratis idem eſt, ratio velocitatis reſpectivæ poſt impactum ad velocitatem reſpectivam antè impactum, quam rationem in iiſdem corporibus conſtantem eſſe, experimentis probavit NEWTONUS, niſi tamen partes corporum ex congreſſu lædantur, vel extenſionem aliqualem quaſi ſub malleo patiantur. Corpora omni elaterio deſtituta ſupponantur, & in eâ hypotheſi quæratur quantitas motûs in unoquoque corpore ex ictu acquiſita vel amiſſa, cui motûs quantitati ſi addatur quantitas motûs vi elaſticæ proportionalis, ſumma erit vera quantitas motûs ex conflictu corporum imperfectè elaſticorum in unoquoque acquiſita vel amiſſa, ex quâ datâ & ex quantitate motûs corporis cujuſque antè conflictum, reperitur, ut ſuprà, omnis quantitas motûs illius poſt conflictum. Exemplo lux affulgebit.

(l) 54. Globus A, ſit triplo major globo B, habeatque duos velocitatis gradus, illius motûs quantitas (6) erit ut 3 × 2, ſeu 6. B, ſequatur in eâdem rectâ cum velocitatis gradibus, 10, eritque quantitas motûs globi B, 1 × 10, ſeu, 10, ... 1°. Si globi elaſtici non ſunt,

Digitized by Google

motus illis eſſe partium ſex & partium decem, & ſumma erit partium ſexdecim. In corporum igitur concurſu, ſi corpus *A* lucretur motûs partes tres vel quatuor vel quinque, corpus *B* amittet partes totidem, adeoque perget corpus *A* poſt reflexionem cum partibus novem vel decem vel undecim, & *B* cum partibus ſeptem vel ſex vel quinque, exiſtente ſemper ſumma partium ſexdecim ut prius. Si corpus *A* lucretur partes novem vel decem vel undecim vel duodecim, ideoque progrediatur poſt concurſum cum partibus quindecim vel ſexdecim vel ſeptemdecim vel octodecim, corpus *B*, amittendo tot partes quot *A* lucratur, vel cum unâ parte progredietur amiſſis partibus novem, vel quieſcet amiſſo motu ſuo progreſſivo partium decem, vel cum unâ parte regredietur amiſſo motu ſuo & (ut ita dicam) unâ parte amplius, vel regredietur cum partibus duabus ob detractum motum progreſſivum partium duodecim. Atque ita ſummæ motuum conſpirantium 15 + 1 vel 16 + 0, & differentiæ contrariorum 17 — 1 & 18 — 2 ſemper erunt partium ſexdecim, ut ante concurſum & reflexionem. (m) Cognitis autem motibus quibuſcum corpora poſt reflexionem pergent, invenietur cujuſque velocitas, ponendo eam eſſe ad velocitatem ante reflexionem, ut motus poſt eſt ad mo-

ſunt, velocitas communis poſt conflictum (52) erit 16 : 4, ſeu 4; quare quantitas motûs ipſius A, poſt conflictum erit 3 × 4, ſeu 12. B, verò quantitas motûs erit 1 × 4, ſeu 4. Itaque quantitas motûs à corpore B, amiſſa eſt, 6, & corpori A, acquiſita eſt etiam, 6..... 2°. Si globi ſunt perfectè elaſtici, quantitates illæ duplicari debent (53), erunt igitur 12 & 12. Si quantitati motûs. 6, globi A, antè conflictum jungas, 12, ſumma erit, 18, quantitas motûs illius poſt conflictum; ſi verò ex quantitate motûs, 10, ipſius B, antè conflictum ſubduxeris, 12, quantitatem motûs per conflictum amiſſam, reſiduum eſt — 2, quod ſignum —, ut notum eſt, contrariam poſitionem ſignificat, ſeu corpus B, poſt ictum in contrariam plagam reſilit cum hâc motûs quantitate 2.... 3°. Si globi A & B, ſint imperfectè elaſtici, ſitque v. gr., eorum vis reſtitutiva ſubdupla vis compreſſivæ, erit vis compreſſiva ad vim reſtitutivam (ſeu 2, ad 1) ut quantitas motûs, 6, ex ictu acquiſita vel amiſſa ad quantitatem motûs, 3, ſola vi reſtitutivâ acquiſitam vel amiſſam; quare hæc quantitas, 3, addatur quantitati, 6, ex ictu acquiſitæ in corpore A, & amiſſæ in corpore B, ſumma, 9, erit quantitas motûs integra tam ex ictu quàm ex elatere acquiſita vel amiſſa; unde quantitas motûs globi A, poſt conflictum eſt, 6 + 9, ſeu, 15, globi B, 10 — 9, ſeu 1, quarum ſumma eſt, 16.

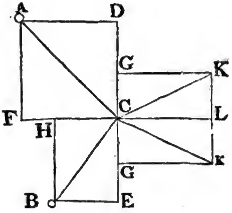
(m) 55. Cognitis quantitatibus motuum quibuſcum corpora poſt conflictum pergent, invenietur cujuſque velocitas dividendo quantitatem motûs cujuſque corporis

motum ante. Ut in caſu ultimo, ubi corporis *A* motus erat partium ſex ante reflexionem & partium octodecim poſtea, & velocitas partium duarum ante reflexionem; invenietur ejus velocitas partium ſex poſt reflexionem, dicendo, ut motûs partes ſex ante reflexionem ad motûs partes octodecim poſtea, ita velocitatis partes duæ ante reflexionem ad velocitatis partes ſex poſtea.

(n) Quod ſi corpora vel non Sphærica vel diverſis in rectis moventia incidant in ſe mutuo obliquè, & requirantur eorum motus poſt reflexionem; cognoſcendus eſt ſitus plani à quo cor-

ris per illius maſſam (6), aut etiam quia ejuſdem corporis diverſæ quantitates motûs ſunt ut velocitates (6), dicendo, ut quantitas motûs antè conflictum ad quantitatem motûs poſt conflictum, ità velocitas corporis antè conflictum ad illius velocitatem poſt conflictum.

(•) 56. Si corpora quæcumque A & B, diverſis in rectis A C, B C, moventia, incidant in ſe mutuò obliquè in C, & requirantur eorum motus poſt impactum. Cognoſcendus eſt ſitus plani F L, à quo corpora concurrentia tanguntur in puncto concurſûs C; deinde corporis utriuſque motus A C, B C, (per Coroll. 2.) diſtinguendus eſt in duos A D, & A F, B E & B H, unum nempè A F ſeu D C, & B H ſeu E C, huic plano F L perpendicularem, alterum A D, B E, eidem parallelum. Quia verò corpora ſecundùm parallelas A D, B E, ad ſe mutuò non accedunt, ſed tantùm ſecundùm perpendiculares D C, E C, in ſe invicem agunt, motus paralleli A D, B E, per impactum non mutantur, adeòque retinendi ſunt iidem poſt conflictum qui erant ante conflictum; & motibus perpendicularibus D C, E C, mutationes æquales in partes contrarias C D, C E, tribuendæ ſunt ſic ut ſumma conſpirantium & differentia contrariorum maneat eadem ante & poſt conflictum (Coroll. 3. *Newt.*) Ut itaque corporum A & B, in ſe mutuò obliquè incidentium motus poſt ictum inveniantur, mota duntaxat ſupponantur per lineas D C & E C, velocitatibus D C & E C, atque



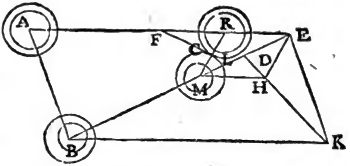
in eâ hypotheſi quærantur (52, ſi fuerint elaſtica, 53, ſi non fuerint elaſtica) eorum velocitas poſt conflictum in lineâ C D, vel C E, ex quâ datâ, & ex velocitate parallelâ plano F L, etiam datâ, compoſitus corporis motus (per Coroll. 1. *Newt.*) facilè reperietur. Sit exempli causâ C G, velocitas corporis A, poſt impactum per D E, in C; ſumptâ C L, æquali & parallelâ velocitati ſecundùm A D, quæ eadem poſt conflictum remanet, compleatur parallelogrammum G L & A, movebitur per illius diagonalem C K, velocitate ut C K, (per Coroll. 1. *Newt.*) Si corpora anguloſa ſibi per angulos occurrant, orientur motus circulares, dum pars corporis ex vi inſitâ in unam plagam movetur, altera verò ex conflictu fertur in alteram plagam circà corporis centrum.

57. *Da-*

Digitized by Google

corpora concurrentia tanguntur in puncto concurſûs: dein corporis utriuſque motus (per Corol. 11.) diſtinguendus eſt in duos, unum huic plano perpendicularem, alterum eidem parallelum: motus autem paralleli, propterea quod corpora agant in ſe invicem ſecundum lineam huic plano perpendicularem, retinendi ſunt iidem poſt reflexionem atque antea; & motibus perpendicularibus mutationes æquales in partes contrarias tribuendæ ſunt ſic, ut ſumma conſpirantium & differentia contrariorum maneat eadem quæ prius. Ex hujuſmodi reflexionibus oriri etiam ſolent motus circulares corporum circa centra propria. Sed hos caſus in ſequentibus non conſidero, & nimis longum eſſet omnia huc ſpectantia demonſtrare.

CO-



57. Datis duorum globorum A & B, directionibus, celeritatibus & diametris, unà cum eorum ſitu antè conflictum, facile eſt determinare punctum concurſûs C, & ſitum plani F L, utrumque globum in puncto C, contingentis. Globus A, feratur per lineam A E, & celeritate ut A E, globus B verò ſecundùm directionem B E, celeritate ut B D, moveatur. Junctis A & B globorum centris per lineam A B, compleatur parallelogrammum A B K E. Jungantur puncta D & K, & recta D K, ex centro E, interſecetur arcu qui deſcribitur radio E H, ſummæ ſemidiametrorum globorum A & B, æquali. Ex puncto interſectionis H, ducatur recta H M, ipſi E A parallela, erunt M & R, loca in quibus globorum centra conſtituentur, ubi ſecum invicem concurrent, & ſumptâ lineâ R C, æquali radio globi A, recta F L, ad R C perpendicularis, in puncto C, ſitum plani deſignabit . . . . *Dem* . . . Quoniam recta H M, eſt lineæ B K parallela (per conſt.) erit D M : D B = M H : B K = R E : E A, ob R E = M H : & E A = B K; ergò dividendo B M : B D = A R : A E, & alternando B M : A R = B D : A E. Cum igitur ſit B M ad A R, ut celeritas globi B, ad celeritatem globi A; globus A in R, & B in M, eodem tempore pervenient (6); Cumque ſit M R = E H, globi in puncto C, ſe mutuò contingent, & planum E L, ad radium R C, in puncto C, perpendiculariter ductum utrumque globum continget. Q. e. D.

Digitized by Google

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

COROLLARIUM IV.

Commune gravitatis Centrum (°), *corporum duorum vel plurium, ab actionibus corporum inter ſe non mutat ſtatum ſuum vel motûs vel quietis; & propterea corporum omnium in ſe mutuo agentium (excluſis actionibus & impedimentis externis) commune Centrum gravitatis vel quieſcit vel movetur uniformiter in directum.*

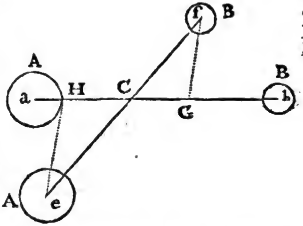
Nam

(°) 58. Centrum gravitatis corporis cujuſque, eſt punctum intrà vel extrà corpus poſitum, circà quod undique partes in æquilibrio conſiſtunt, ità ut ſi per hoc punctum ducatur planum figuram utcumque ſecans, corporis ſegmenta quæ utrinque ſunt circà planum illud librata æquiponderent; ſi igitur ex centro gravitatis corpus aliquod ſuſpendatur, datum quemcumque ſitum retinebit, & ſemper quieſcet, ſi centri gravitatis deſcenſus impediatur; unde totam corporis gravitatem in centro gravitatis locatam fingunt Mechanici, & pro corpore gravi ſolum gravitatis centrum in ſuis demonſtrationibus ſurrogare ſolent. Planum gravitatis eſt figura plana per centrum gravitatis tranſiens; Diameter verò gravitatis eſt recta per centrum gravitatis ducta, Quare planorum gravitatis, communis interſectio diametrum gravitatis efficit, & in diametrorum gravitatis concurſu centrum gravitatis poſitum eſt. Centrum magnitudinis vocatur punctum illud, per quod diviſa magnitudo relinquit duas partes utrinque æquales; ut in circulo & ellipſi, ductis utcumque per centrum lineis rectis, lineæ illæ totaque figura in partes æquales dividuntur; ac proindè ſi gravia homogenea, id eſt, quorum gravitates ſunt voluminibus proportionales, ſecundum longitudinem in partes ſimiles & æquales ſecari poſſint, centrum gravitatis à centro magnitudinis non differt.

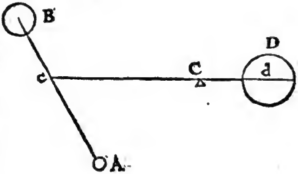
59. Ex hiſce definitionibus facilè colligitur, omnium circulorum, ellipſium, ſphærarum & figurarum quarumvis regularium; centrum gravitatis idem eſſe cum centro magnitudinis, modò tamen gravia ſupponantur homogenea. In figuris autem irregularibus, communi duorum gravitatis diametrorum interſectione determinari poteſt centrum gravitatis (58). Sic in quolibet parallelogrammo, centrum illud in duarum diagonalium concurſu poſitum eſt; in triangulo reperitur in interſectione duarum rectarum quæ à duobus angulis ductæ, latera angulis illis oppoſita, totumque proindè triangulum bifariam, adeoque in partes æquiponderantes ſecant, in priſmatibus & cylindris, centrum gravitatis eſt punctum medium rectæ baſium oppoſitarum centra conjungentis; & generaliter in omnibus corporibus quantumvis difformibus centrum gravitatis mechanicè invenitur, ſi corpus ab aliquâ ſui parte liberè ſuſpendatur, & ab eâdem parte à quâ pendet, demittatur perpendiculum ità ut in corpore linea quam fecerit perpendiculi filum notetur; deinde ab aliâ parte corpus idem liberè ſuſpendatur ut priùs, noteturque iterùm linea perpendiculi ab hâc parte ſuper corpus demiſſi; concurſus enim duorum filorum perpendiculi (quæ ſunt diametri gravitatis) erit centrum gravitatis corporis dati.

60. Centra gravitatis a & b, corporum A & B, rectâ ſeu vecte inflexibili & gravitatis experte, a b jungantur; & ità dividatur a b, in C, ut ſit pondus A, ad pondus B, ut C b, ad C a, punctum C, erit centrum gravitatis commune duorum corporum A & B.... *Dem*... punctum C, fixum

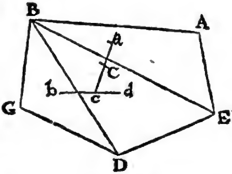
xum maneat, ſitque 1°. a b, horizonti parallela, & quia a b, eſt vectis cujus fulcrum C, ponderis B momentum ſeu conatus ad vectem circà C, movendum, erit ut B × C b, & ponderis A momentum ut A × C a (47); verùm (per hyp.) A : B = C b : C a, adeóque A × C a = B × C b; ergò momenta ponderum A & B, æqualia ſunt, & proinde in æquilibrio circà punctum C, conſiſtunt.... 2°. vectis, a b, circà punctum C fixum, rotetur, & ſitum e f, inclinatum ad horizontem a b, obtineat, ductis F G, E H, rectis horizonti a b, perpendicularibus, quæ ſunt gravium directiones, ponderum A & B, momenta erunt ut A × C H & B × C G, (47); ſed ob triangula H C e, G f G, ſimilia G C : H C = C f, ſeu C b : C e, ſive C a = A : B, adeóque G C : H C = A : B & A × C H = B × C G; momenta igitur ponderum A & B, in ſitu quocumque dato æqualia ſunt & ſemper æquilibrantur. Quare (58) punctum C, eſt commune gravitatis centrum duorum corporum A & B. Q. e. D.



61. Coroll. 1..... Duorum corporum A & B, commune gravitatis centrum ſit c, & tertii corporis D, centrum gravitatis proprium ſit d; jungatur recta c d, quæ ità dividatur in C, ut ſit ſumma ponderum A + B ad pondus D, ſicut C d, ad C c, trium corporum A, B, D, centrum gravitatis commune erit in C; nam duo corpora A & B, (58) conſiderari poſſunt tanquam in ſuo communi gravitatis centro c, coacta, adeóque ſi fuerit A + B : D = C d : C c, erit C, centrum gravitatis commune trium corporum A, B, D, (60). Eàdem ratione quatuor, pluriumve, prout quiſque voluerit, corporum commune gravitatis centrum reperietur.

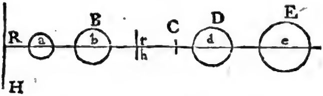


62. Coroll. 2..... figuræ cujuſvis planæ & rectilineæ centrum gravitatis hoc modo inveniri poteſt. Figura data, A B G D E in ſua triangula dividatur, duorumque triangulorum, B G D, B D E, centra gravitatis b & d, rectâ jungantur, & ità dividatur, b d, in c, ut area trianguli B G D, ſit ad aream trianguli B D E, ſicut c d, a d, b c, eritque, c, centrum gravitatis commune duorum triangulorum B G D, B D E, (60). Centrum gravitatis, a, trianguli B A C, & centrum, c, figuræ B G D E, mox inventum jungantur rectâ c a, quæ ità dividatur in C, ut area trianguli B A E, ſit ad aream figuræ B G D E, ſicut C c, ad C a & C, erit centrum gravitatis totius figuræ datæ A B G D E, (61). Hæc omnia clarè intelliguntur, ſi figurarum area quævis, inſtar ponderis centro gravitatis appenſi conſideretur.



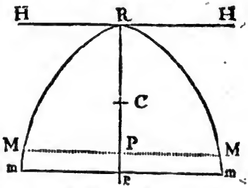
AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

63. Sit recta R H, horizonti perpendicularis quæ axis rotationis dicatur, & in eâ ſumatur centrum rotationis R, ſeu punctum fixum circà quod vectis horizontalis R e, cum appenſis ponderibus A, B, D, E, rotari poſſit, ſintque corporum centra gravitatis propria a, b, d, e, & eorum commune gravitatis centrum C, in vecte R e, ad eandem axis R H, partem poſita; diſtantia R C, communis centri gravitatis C, à centro rotationis R, æqualis erit ſummæ factorum uniuſcujuſque ponderis in ſuam à centro rotationis R, diſtantiam, per ſummam ponderum diviſæ....... *Dem*.... Momentum cujuſque ponderis ad vectem circà centrum R, movendum, eſt ut factum ex illo pondere in ſuam ab eodem centro R, diſtantiam (47), & omnium momentorum ſumma, ſeu totus omnium ponderum ad vectem circà centrum R, movendum conatus, ut illorum factorum ſumma; verùm quia pondera omnia per vectem R e, diſperſa, tanquam in ſuo communi gravitatis centro C, coacta conſiderari poſſunt (58), erit etiam totus omnium ponderum conatus ad vectem circà R, movendum, ut ſumma ponderum in diſtantiam R C ducta; quare ſumma factorum uniuſcujuſque ponderis in ſuam à centro rotationis R diſtantiam, æqualis eſt facto ex ſummâ ponderum in diſtantiam R C communis centri gravitatis C, à centro rotationis R; igitur $RC \times \overline{A+B+D+E}$ &c. $= A \times aR + B \times bR + D \times dR + E \times eR$ &c., adeóque $RC = \overline{A \times aR + B \times bR + D \times dR + E \times eR}$ &c.: $\overline{A+B+D+E}$ &c. Q. e. D.



64. Si pondera ad eandem axis rotationis partem ſita non ſint, ſi v. gr. fuerit axis rotationis r h, erit $rC = \overline{D \times dr + E \times er - A \times ar - B \times br} : \overline{A+B+D+E}$. Nam momenta ponderum D & E, ad vectem circà r movendum ſunt $D \times dr$, $E \times er$, & momenta contraria ponderum A & B, ſunt $A \times ar$, $B \times br$; quare vis omnium ponderum ad vectem r e, movendum erit, $D \times dr + E \times er - A \times ar - B \times br$; ſed ſi pondera in centro C, coacta ſupponantur, erit vis illa eadem, $rC \times \overline{A+B+D+E}$, ergò $rC \times \overline{A+B+D+E} = D \times dr + E \times er - A \times ar - B \times br$, ac proindè $rC = \overline{D \times dr + E \times er - A \times ar - B \times br} : \overline{A+B+D+E}$. Q. e. D.

65. Quapropter ſi omnia pondera ſint ad eandem axis rotationis R H, partem poſita, & quodlibet pondus vocetur p, ſumma verò omnium ponderum S p; prætereà ſi diſtantia à centro rotationis dicatur x, ac proinde factum cujuſque ponderis in ſuam à centro rotationis diſtantiam ſit x p, & omnium factorum ſumma ſ x p; diſtantia communis centri gravitatis omnium ponderum à centro rotationis erit generaliter S x p: S p. Si verò pondera fuerint ad diverſas axis rotationis r h, partes poſita, & diſtantia cujuſlibet ponderis à centro rotationis r, vocetur x, ſingula verò pondera quæ ſunt ad partem r e, poſita, dicantur p, eorumque ſumma ſit S p; inſuper ſingula pondera ad partem R r, ſita dicantur q, & eorum ſumma ſit S q, diſtantia communis centri gravitatis omnium ponderum à centro rotationis r, erit ſ x p — ſ x q : ſ p + ſ q, vel ſ x q — ſ x p : ſ p + ſ q; undè ſi S x p = S x q, manifeſtum eſt, centrum rotationis idem eſſe cum centro gravitatis.



66. Harumce formularum auxilio, centra gravitatis figurarum curvarum reperiuntur; Nam ſi curvæ M R M, axis R P, quo ordinatæ M M m m, biſariam dividuntur, ut

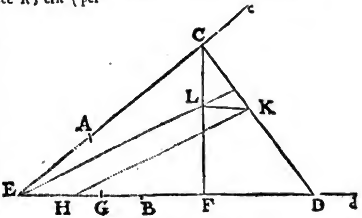
vectis

Digitized by Google

(p) Nam ſi puncta duo progrediantur uniformi cum motu in lineis rectis, & diſtantia eorum dividatur in ratione datâ, punctum dividens vel quieſcit vel progreditur uniformiter in lineâ

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

rectis habeatur, vertexque R, ut centrum rotationis & ſingula elementa qualia ſunt M M m m, ut pondera vecti appenſa conſiderentur, diſtantia centri gravitatis C, à centro rotationis ſeu vertice R, erit (per primam formulam) æqualis ſummæ factorum ex ſingulis elementis M M m m, in ſuam à vertice R, diſtantiam per ſummam eorundem elementorum diviſæ.



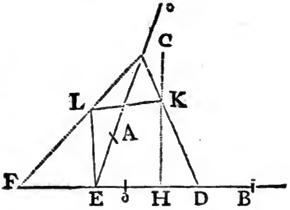
(p) 67. Duo corpora C & D, æquabiliter moveantur in lineis rectis A C, B D, poſitione datis, jungaturque recta C D, & ità dividatur in K, ut ſit D K, ad C K, ut corpus C, ad corpus D; punctum K, quod eſt centrum gravitatis corporum C & D, (60) vel quieſcet vel movebitur uniformiter in lineâ rectâ poſitione datâ.... *Dem*... Concurrant lineæ A C & B D, in E. 1°. Corpora C & D, ex punctis fixis A & B, in eandem plagam proficiſcantur & iiſdem temporibus ad puncta C & D, perveniant, ac proinde ſpatia A C & B D, erunt in ratione datâ velocitatum (5). In B E, capiatur B G, ad A E, in ratione datâ B D, ad A C, & cum data ſit A E, dabitur quoque linea B G; ſit F D, ſemper æqualis datæ E G, erit E F = G D, & quia B G : A E = B D : A C, (per conſt.) erit B G + B D, ſeu G D : A E + A C, ſeu E C = B D : A C, adeóque A C : B D = E C : G D, ſeu E F; eſt igitur E C ad E F; in ratione datâ, & propterea ex datis angulo C E F, & laterum E C, E F, ratione, dabitur ſpecie triangulum E F C, id eſt dantur tres anguli. Deinde ſecetur C F, in L, ut ſit C L, ad C F, in ratione datâ C K, ad C D, id eſt in ratione corporis D, ad ſummam corporum C + D; & quia in triangulo E F C, ſpecie dato datur ratio laterum E F, F C, dataque eſt ratio C F, ad F L, dabitur quoque ratio ex his duabus compoſita E F, ad F L, adeóque ob angulum E F C, etiam datum dabitur ſpecie triangulum E F L; Quare dum progrediuntur corpora C & D, punctum L, ſemper locabitur in rectâ E L, poſitione datâ, utpote quæ eſt baſis trianguli E F L, in quo angulus F, idem conſtanter manet, & latus E F, poſitione datum ad latus F L, datam habet rationem. Junge L K, & quia C L : C F = C K : C D (per conſt.), ſimilia erunt triangula C L K, C F D, & ob datam F D = E G, & datam rationem F D, ad L K, ſeu C D, ad C K; dabitur L K, magnitudine; lineæ L K, æqualis capiatur E H, & ductâ H K, erit ſemper E L K H, parallelogrammum, ob L K, æqualem & parallelam ipſi L H, locabitur ergò punctum K, in parallelogrammi illius latere H K, quod poſitione datum eſt; nam latus E L, poſitione, latus verò E H, poſitione & magnitudine datur. Quare punctum K, ſeu centrum gravitatis in lineâ rectâ poſitione datâ progreditur. Quoniam verò, ex demonſtratis, triangula C E F, L E F, ſpecie, & tria latera E C, E L, E F, poſitione data ſunt, manifeſtum eſt rationem rectæ E L, ſeu lineæ æqualis H K, ad E C, datam eſſe. Verùm quia punctum C, uniformiter movetur (*per hyp.*) uniformiter creſcit recta E C, ergò pariter recta H K, uniformiter augetur, adeoque punctum K, æquabiliter progreditur in lineâ rectâ H K, poſitione datâ. Q.e. 1°. demonſtrandum.....

2°. Cor-

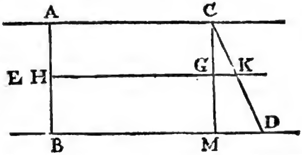
Digitized by Google

neâ rectâ. Hoc poſtea in Lemmate XXIII. ejuſque Corollario demonſtratur, ſi punctorum motus fiant in eodem plano; & (q) eâdem

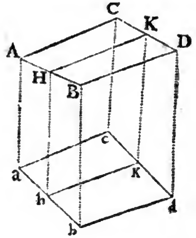
2°. Corpora ex punctis fixis A & B, in diverſas plagas progrediantur, ſemperque capiatur B G, in partem oppoſitam directioni B D, F D, verò ſecundùm directionem B D, cætera fiant ut in ſuperiori conſtructione eadem manebit demonſtratio pro 2°. caſu.



68. Si punctum concurſus E, in infinitum abeat, parallelæ fient lineæ A C, B D, & ex ſuperiori demonſtratione patet centrum gravitatis K, vel quieſcere vel uniformiter moveri, in lineâ H K, poſitione datâ, lineis A C, B D, parallelâ; ſi autem lineæ parallelæ A C & B D, ad ſe mutuò accedant tandemque coincidant, eadem ſemper valet demonſtratio, ac proindè ſi corpora in eâdem rectâ moveantur, in hâc eâdem lineâ centrum gravitatis vel quieſcet vel movebitur uniformiter.



(q) 69. Si rectæ A C & B D, non in uno, ſed in diverſis planis poſitæ fuerint, ex ſingulis eorum punctis A & B, C & D, in quibus eodem tempore repeˑriuntur, in planum quodvis a b d c, pro lubitu aſſumptum demittantur perpendicula A a, B b, C c, D d; & ex centris gravitatis H & K, perpendicula H h, K k, excitentur, ob motum uniformem punctorum A & B, in lineis A C, B D, evidens eſt puncta a & b, uniformiter moveri in lineis a c, b d; & quia A a, B b, H h, parallelæ ſunt; lineæ A B, a b, in eâdem ratione datâ in H, & h, dividuntur; idemque dicendum de punctis K, & k, in lineis C D, & c d; Quare, ex demonſtratis (67), punctum h, uniformiter progreditur in rectâ h k, adeoque centrum gravitatis H, ſemper movetur in plano H h K k, ad planum a b d c, normali, ſi loco plani, a b d c, aliud quodvis ad arbitrium aſſumeretur, eodem modo



Digitized by Google

dem ratione demonſtrari poteſt, ſi motus illi non fiant in eodem plano. Ergo ſi corpora quotcunque moventur uniformiter in lineis rectis, commune centrum gravitatis duorum quorumvis vel quieſcit vel progreditur uniformiter in lineâ rectâ; propterea quod linea, horum corporum centra in rectis uniformiter progredientia jungens, dividitur ab hoc centro communi in ratione datâ. Similiter & commune centrum horum duorum & tertii cujuſvis vel quieſcit vel progreditur uniformiter in lineâ rectâ; propterea quod ab eo dividitur diſtantia centri communis corporum duorum & centri corporis tertii in datâ ratione. Eodem modo & commune centrum horum trium & quarti cujuſvis vel quieſcit vel progreditur uniformiter in lineâ rectâ; propterea quod ab eo dividitur diſtantia inter centrum commune trium & centrum quarti in datâ ratione, & ſic in infinitum. Igitur in ſyſtemate corporum quæ actionibus in ſe invicem aliiſque omnibus in ſe extrinſecus impreſſis omnino vacant, ideoque moventur ſingula uniformiter in rectis ſingulis, commune omnium centrum gravitatis vel quieſcit vel movetur uniformiter in directum.

(r) Porro in ſyſtemate duorum corporum in ſe invicem agentium cùm diſtantiæ centrorum utriuſque à communi gravitatis centro ſint reciprocè ut corpora; erunt motus relativi cor-

modo demonſtrari poſſet centrum gravitatis H, moveri in plano ad aſſumptum perpendiculari; neceſſe igitur eſt ut centrum illud H, moveatur in communi illorum planorum ad alia pro lubitu aſſumpta perpendicularium interſectione, quæ cum ſit linea recta H K, poſitione data, & punctum h, per rectam h k, uniformiter progrediatur, punctum H, æquabiliter fertur in lineâ H K. In omni igitur caſu centrum commune gravitatis duorum corporum quæ motu uniformi per lineas rectas poſitione datas progrediuntur, ſemper quieſcit vel movetur uniformiter in rectâ poſitione datâ.



(r) 70. Si duobus corporibus A & B, quorum commune gravitatis centrum ſit K, æquales motûs quantitates in partes contrarias de novo imprimantur, quibus eodem tempore percurrunt ſpatia A a, B b, centri gravitatis ſtatus non mutatur; Cum enim K, ſit commune centrum gravitatis corporum A & B, (*per hyp.*) erit A : B = K B : K A (60) & quia impreſſæ quantitates motûs (6) A × A a, B × B b æqua-

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

corporum eorumdem, vel accedendi ad centrum illud, vel ab eodem recedendi, æquales inter ſe. Proinde centrum illud à motuum æqualibus mutationibus in partes contrarias factis, atque ideo ab actionibus horum corporum inter ſe, nec promovetur, nec retardatur, nec mutationem patitur in ſtatu ſuo quoad motum vel quietem. In ſyſtemate autem corporum plurium, quoniam duorum quorumvis in ſe mutuo agentium commune gravitatis centrum ob actionem illam nullatenus mutat ſtatum ſuum; & reliquorum, quibuſcum actio illa non intercedit, commune gravitatis centrum nihil inde patitur; diſtantia autem horum duorum centrorum dividitur à communi corporum omnium centro in partes ſummis totalibus corporum quorum ſunt centra reciprocè proportionales, ideoque centris illis duobus ſtatum ſuum movendi vel quieſcendi ſervantibus, commune omnium centrum ſervat etiam ſtatum ſuum: manifeſtum eſt quod commune illud omnium centrum ob actiones binorum corporum inter ſe nunquam mutat ſtatum ſuum quoad motum & quietem. In tali autem ſyſtemate actiones omnes corporum inter ſe vel inter bina ſunt corpora, vel ab actionibus inter bina compoſitæ; & propterea communi omnium centro mutationem in ſtatu motus ejus vel quietis nunquam inducunt. Quare cum centrum illud ubi corpora non agunt in ſe invicem, vel quieſcit, vel in recta aliqua progreditur uniformiter; perget idem, non obſtantibus corporum actionibus inter ſe, vel ſemper quieſcere, vel ſemper progredi uniformiter in directum; niſi à viribus in ſyſtema extrinſecus impreſſis deturbetur de

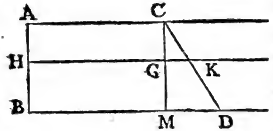


æquales ſunt (*per hyp.*), erit etiam A : B = B b : A a, adeòque K B : K A = B b : A a, & componendo vel dividendo K b : K a = B b : A a = A : B; dum igitur corpora A & B, ad puncta a & b, motibus impreſſis perveniunt, centrum K, immotum remanſit (60), ac proindè ab æqualibus motuum mutationibus in contrarias partes factis non mutat ſtatum ſuum motùs vel quietis. Quapropter cum mutua corporum actio (per leg. 2. 3.) æquales mutationes in utroque corpore versùs partes contrarias producat, commune gravitatis centrum duorum corporum ab actionibus horum corporum inter ſe, nec promovetur, nec retardatur, nec mutationem patitur in ſtatu ſuo quoad motum vel quietem.

71. Mo-

de hoc ſtatu. (f) Eſt igitur ſyſtematis corporum plurium Lex eadem quæ corporis ſolitarii, quoad perſeverantiam in ſtatu motûs vel quietis. Motus enim progreſſivus ſeu corporis ſolitarii ſeu

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.



(f) 71. Motus progreſſivus ſeu corporis ſolitarii ſeu ſyſtematis corporum ex motu centri gravitatis ſemper æſtimari debet.... *Dem*.... 1°. Corpora duo A & B, in lineis AC & BD, parallelis progrediantur cum velocitatibus, ut AC, BD, eorumque commune gravitatis centrum H, per rectam HK, lineis AC & BD, parallelam feratur, ducatur CM, rectæ AB parallela. Quoniam $B : A = AH : BH$ (60) erit $B : B + A = AH : AB$, & ob parallelas AB, & CM; GK & MD, erit $AH : AB = CG : CM = GK : MD$, adeóque $GK : MD = B : A + B$, & $B \times MD = \overline{A + B} \times GK$; verum quia $AC = HG = BM$, erit $HK = AC + GK$, & $BD = AC + MD$; quarè $\overline{A + B} \times HK = \overline{A + B} \times AC + \overline{A + B} \times GK = A \times AC + B \times AC + B \times MD$, ob $\overline{A + B} \times GK = B \times MD$, ergò $\overline{A + B} \times HK = A \times AC + B \times BD$, ſeu ſumma corporum A & B, in velocitatem centri gravitatis HK, ducta, æqualis eſt ſummæ factorum in ſingulis corporibus A & B, in ſuam velocitatem AC, BD.... 2°. Si corpora contrariis directionibus CA & BD, moveantur, negativa erit quantitas motûs corporis A, propter contrariam directionem CA, adeóque differentia quantitatum motûs corporum, in plagas oppoſitas tendentium, ſeu quod idem eſt, quantitas motûs in eandem plagam, æqualis erit facto ex ſummâ corporum, in velocitatem centri gravitatis.... 3°. Si parallelæ AC, BD, ad ſe mutuò accedant tandemque coincidant, eadem ſemper manet demonſtratio, quæ proindè etiam obtinet, dum corpora in eâdem rectâ feruntur.... 4°. Si corpora non moveantur in lineis parallelis nec in eodem plano, uniuſcujuſque ponderis directio ac velocitas in duas alias reſolvatur, quarum una ſit viæ centri gravitatis parallela, altera verò ipſi perpendicularis, & ex demonſtratis liquet ſummam quantitatum motûs corporum in plagam versùs quam movetur centrum gravitatis eſſe æqualem facto ex ſummâ corporum in velocitatem centri gravitatis.... 5°. Si æquabilis non ſit corporum motus, ſed quâcumque ratione acceleretur vel retardetur, temporibus infinitè parvis tanquam æquabilis ſpectari poteſt, iiſque tempuſculis ſumma quantitatum motûs corporum æqualis eſt facto ex ſummâ corporum in velocitatem centri gravitatis; undè quovis tempore quantitas motûs ſingulorum corporum æqualis eſt quantitati motûs quam habuiſſent omnia corpora, ſi communi velocitate centri gravitatis ſimul lata fuiſſent.... 6°. Si trium corporum ſyſtema moveatur, duo ex hiſce corporibus in ſuo gravitatis centro coacta fingi poſſunt (ex *Dem.*) ac proindè trium pluriumve corporum aut etiam ejuſdem corporis partium ſyſtema ad duorum duntaxat corporum ſyſtema reducitur; ergò quantitas motûs progreſſivi ſeu corporis ſolitarii ſeu ſyſtematis corporum, ex motu centri gravitatis æſtimari debet. Q. e. D.

72. *Coroll.* 1.... Si differentiæ quantitatum motûs versùs partes contrarias in ſyſtemate corporum ſit nihilo æqualis, commune centrum gravitatis quieſcit; ſi inæqualis eſt, progreditur in eam partem versùs quam prævalet motus.

73. *Coroll.* 2.... Motus ſyſtematis corporum in plagam datam habetur, ſi centri gravitatis motus in duos motus reſolvatur, quorum unus in plagam datam dirigatur, alter verò ſit ipſi perpendicularis; nam ſumma corporum ducta in veloci-

Digitized by Google

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

ſeu ſyſtematis corporum ex motu centri gravitatis æſtimari ſemper debet.

COROLLARIUM V.

(ᵗ) *Corporum dato ſpatio incluſorum iidem ſunt motus inter ſe, ſive ſpatium illud quieſcat, ſive moveatur idem uniformiter in directum ſine motu circulari.*

Nam differentiæ motuum tendentium ad eandem partem, & ſummæ tendentium ad contrarias, eædem ſunt ſub initio in utroque caſu (ex hypotheſi) & ex his ſummis vel differentiis oriuntur congreſſus & impetus quibus corpora ſe mutuo feriunt. Ergo per Legem II. æquales erunt congreſſuum effectus in utroque caſu; & propterea manebunt motus inter ſe in uno caſu æquales motibus inter ſe in altero. Idem comprobatur experimento luculento. Motus omnes eodem modo ſe habent in Navi, ſive ea quieſcat, ſive moveatur uniformiter in directum.

COROLLARIUM VI.

Si corpora moveantur quomodocunque inter ſe, & à viribus acceleratricibus æqualibus ſecundum lineas parallelas urgeantur; per-

locitatem centri gravitatis verſus datam directionem exponit quantitatem motûs totius ſyſtematis in eandem partem progredientis.

(ᵗ) 74. Si navi quieſcenti in quâ continentur corpora variis motibus agitata, motus in directum æquabilis imprimatur, omnia hæc corpora navis velocitatem æquè participant (*leg.* 1. 2.), adeóque ſingulis corporibus additur in eandem plagam æqualis velocitas, ac proinde motus navi impreſſus reſpectivas corporum velocitates non mutat; quare differentiæ velocitatum in corporibus quæ ad eandem partem tendunt, & ſummæ velocitatum in corporibus quæ ad partes contrarias tendunt, eædem manent antè & poſt motum navi impreſſum; ſed ex his ſummis vel differentiis quæ ſunt reſpectivæ corporum velocitates, oriuntur congreſſus & ictûs magnitudines quibus corpora ſe mutuò feriunt; nam ſi corpus aliquod M, velocitate C, in corpus quieſcens m, incurrat, eadem eſt ictûs magnitudo ac ſi utrique corpori nova velocitas c, in eandem partem accederet, & corpus M, cum velocitate C + c, in corpus m, velocitate c, motum impingeret; corpus enim M, in m, non agit per velocitatem c, utrique corpori communem, ſed per ſolam velocitatum differentiam C + c — c, ſeu C; hæc autem differentia eſt ipſamet velocitas quâ corpus M, in aliud m, quieſcens agit. Iidem ergò erunt congreſſus ac proindè æquales congreſſuum effectus in utroque caſu (per *leg.* 2.), & propterea manebunt motus reſpectivi in uno caſu æquales motibus reſpectivis corporum in altero, ſi autem motus circularis navi imprimeretur, corpora, propter vim centrifugam (18) in varias partes cum variâ velocitate propellerentur.

75. Vis

Digitized by Google

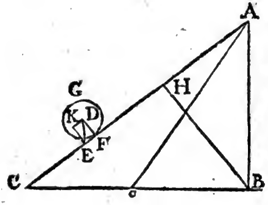
pergent omnia eodem modo moveri inter ſe, ac ſi viribus illis non eſſent incitata.

Nam vires illæ æqualiter (pro quantitatibus movendorum corporum) & ſecundum lineas parallelas agendo, corpora omnia æqualiter (quoad velocitatem) movebunt per legem II. ideoque nunquam mutabunt poſitiones & motus eorum inter ſe.

Scholium. ([a])

Hactenus principia tradidi à Mathematicis recepta & experientiâ multiplici confirmata. Per leges duas primas & corollaria

([a]) 75. Vis acceleratrix gravitatis, quâ corpus in plano ad horizontem inclinato juxtà plani directionem urgetur, eſt ad vim gravitatis acceleratricem quâ ſecundum directionem horizonti perpendicularem ſollicitatur, ut altitudo plani ad ipſius longitudinem .... *Dem*....



Globus G, plano AC, ad horizontem CB, inclinato incumbat; ex A, ad horizontem CB; demittatur perpendiculum AB, & ex centro D, globi ad planum AC, ducatur recta DE, perpendiculo AB, parallela quæ exponat vim gravitatis acceleratricem quâ globus ſecundum directionem DE, horizonti perpendicularem urgetur; vis illa, DE, in duas vires reſolvatur (41), quarum altera DF, ſit ad planum AC, normalis quæ proindè tota plano ſuſtinetur, altera verò DK, ſeu FE, plano parallela quâ ſolâ globus ad motum ſecundùm directionem plani AC, ſollicitatur, & erit vis acceleratrix juxtà plani inclinati directionem agens, ad vim acceleratricem perpendiculariter ſollicitantem, ut EF, ad DE; ſed quoniam triangula EFD, ABC, ob parallelas DE, AB, & angulos rectos F & B, æquales, ſimilia ſunt, eſt FE : DE = AB : AC. Vis igitur acceleratrix gravitatis ſecundum directionem plani inclinati AC, eſt ad vim gravitatis acceleratricem ſecundum directionem horizonti perpendicularem, ut plani inclinati altitudo AB, ad ipſius longitudinem AC. Q. e. D.

76. *Coroll.* 1.... Quoniam vis acceleratrix gravitatis juxtà directionem DE, horizonti perpendicularem conſtans eſt (26), & vis acceleratrix FE, ſecundum directionem plani inclinati AC, eſt ad vim DE, in ratione datâ AB, ad AC; vis acceleratrix FE, conſtans quoque erit; ea igitur omnia quæ de motibus vi acceleratrice conſtanti generis demonſtrata ſunt, transferre licet ad motus vi gravitatis acceleratrice in plano inclinato productos; nempe. 1°. Grave per planum inclinatum motu uniformiter accelerato deſcendit, & motu uniformiter retardato aſcendit (25). 2°. Velocitates ſunt ut tempora quibus acquiruntur (25), ſpatia e quiete cadendo deſcripta ſunt in ratione duplicatâ temporum quibus percurruntur, item-

 que

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

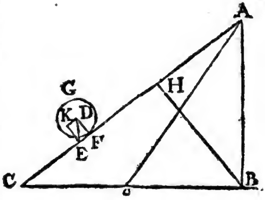
laria duo prima *Galilæus* invenit deſcenſum gravium eſſe in duplicata ratione temporis, & motum projectilium fieri in parabola; conſpirante experientia, niſi quatenus motus illi per aëris reſiſtentiam aliquantulum retardantur. Corpore cadente gravitas uniformis, ſingulis temporis particulis æqualibus æqualiter agendo imprimit vires æquales in corpus illud, & velocita-

que velocitatum quæ his temporibus acquiruntur; tempora verò itemque velocitates ſunt in ratione ſubduplicatâ ſpatiorum (27, 28). 3°. Spatium à gravi in plano inclinato percurſum ab initio motûs computatum, dimidium eſt illius quod eodem tempore ab eodem mobili uniformiter percurri poteſt cum velocitate ultimò acquiſitâ (29).

77. *Coroll.* 2. Quia vires acceleratrices conſtantes ſunt inter ſe in ratione velocitatum, quas eodem tempore producunt (13), velocitas lapſu perpendiculari per A B, acquiſita erit ad velocitatem eodem tempore in plano inclinato acquiſitam, ut longitudo plani, A.C, ad ipſius altitudinem A B (75).

78. *Coroll.* 3. Si ex puncto B, perpendiculi A B, ad planum inclinatum agatur perpendicularis B H; ſpatium A H, in plano inclinato eodem tempore percurritur, quo lapſu perpendiculari deſcribitur A B; nam ob ſimilitudinem triangulorum A H B, A B C, A H : A B = A B : A C, adeóque A H, eſt ad A B, ut velocitas in plano inclinato acquiſita ad velocitatem, eodem tempore in perpendiculo A B, acquiſitam (77). Sed velocitates motu uniformiter accelerato acquiſitæ, ſunt ut dupla ſpatia, ſeu, quod idem eſt, ut ſpatia eodem tempore percurſa (76); ergò A H, A B, ſunt ſpatia eodem tempore percurſa.

79. *Coroll.* 4. Tempus quo planum A C percurritur, eſt ad tempus quo percurritur ipſius altitudo A B, ut longitudo plani A C, ad ejus altitudinem A B; tempus enim per A C, eſt ad tempus per A H, in ratione ſubduplicatâ A C, ad A H (76). Sed ob continuam rectarum A C, A B, A H, analogiam A C, eſt ad A B, in ratione ſubduplicatâ A C, ad A H; tempus igitur per A C, eſt ad tempus per A H, hoc eſt



(78), ad tempus per A B, ut A C, ad A B.

80. *Coroll.* 5. Cum ſit A C, ad A B, ut tempus per A C, ad tempus per A B, & A c, ad A B, ut tempus per A c, ad tempus per A B (79), tempora quibus percurruntur diverſa plana A C, A c, ejuſdem altitudinis A B, ſunt ut planorum longitudines.

81. *Coroll.* 6. Celeritates gravium in plano quovis inclinato A C, & in perpendiculo A B, æquales ſunt, ubi gravia ex eâdem altitudine ad eandem rectam horizontalem C B, pervenerint, adeóque velocitates in planis inclinatis A C, A c, ejuſdem altitudinis in C & c, ſunt æquales; eſt enim velocitas in B, ad velocitatem in H, ut A B ad A H (ea enim ſpatia eodem tempore deſcripta ſunt) & ob ſimilitudinem triangulorum A H B, A B C, ſicut A C ad A B: velocitas autem in C, eſt ad velocitatem in H, in ratione ſubduplicatâ A C, ad A H, hoc eſt, ob continuam analogiam rectarum A C, A B, A H, in ratione A C, ad A B; quare velocitas in B, eſt ad velocitatem in H, ut velocitas in C, ad eandem velocitatem in H, adeóque velocitas in C, æqualis eſt velocitati in B.

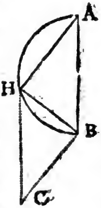
82. Co-

Digitized by Google

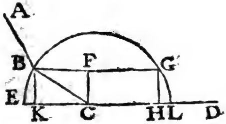
citates æquales generat: & tempore toto vim totam imprimit, & velocitatem totam generat tempori proportionalem. Et ſpatia temporibus proportionalibus deſcripta, ſunt ut velocitates

tes

82. *Coroll.* 7. Tempus deſcenſûs per chordas quaſlibet A H, H B, circuli cujus diameter, A B, eſt ad horizontem perpendicularis, æquale eſt tempori deſcenſûs per totam diametrum A B, ac proinde tempora deſcenſûs per omnes chordas ſunt æqualia; Cum enim angulus A H B, in ſemicirculo rectus ſit, tempus deſcenſûs per A H, æquale eſt tempori deſcenſûs per A B, (78), & ductâ H C, diametro A B, æquali & parallelâ junctâque C B, erit ob angulum H B C, rectum, tempus per H B, æquale tempori per H C, ſeu per A B.



83. Si corpus in curvâ immotâ incedit, vis quâ ſingula curvæ puncta premit, cum vi finitâ quâ movetur corpus comparata, major non eſt quantitate infiniteſimâ primi ordinis; vis ſeu celeritas quam in ſingulis curvæ punctis amittit, major non eſt quantitate infiniteſimâ ſecundi ordinis; tandem vis ſeu celeritas per finitum curvæ arcum amiſſa major non eſt quantitate infiniteſimâ primi ordinis, adeóque corpus in curvâ progreditur eâdem celeritate finitâ ac ſi nihil omninò virium amitteret....



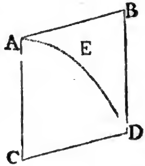
Dem. .... Curva quælibet, ut notum eſt, conſiderari poteſt tanquam polygonum A B C D, ex innumeris atque infiniteſimis lateribus rectis A B, B C, C D, compoſitum, quorum duo quævis B C, C D, angulum comprehendunt à duobus angulis rectis, nonniſi quantitate infiniteſimâ deficientem, ità ut producto latere C D, in E, angulus externus B C E, ſit infiniteſimus. Centro C, & radio C B, deſcribatur ſemicirculus E B G L, ex puncto B verò demittatur in rectam E D, perpendicularis B K, & completo rectangulo K F, motus corporis latere B C, expoſitus, in binos B K, B F, ſeu K C, reſolvitur (Coroll. 1. *Newt.*) His poſitis manifeſtum eſt (51) vim ſeu celeritatem quâ corpus in latus C D, incurrit, illudque premit ſeu percutit, perpendiculari F C, ſive B K, repræſentari; celeritatem poſt ictum, (ſupponendo corpora eſſe elaterio deſtituta) rectâ K C, ſeu C H, exhiberi, & celeritatem ex impactu in C, amiſſam rectâ E K, exponi, cum E K, ſit differentia rectarum B C, K C; hoc eſt, celeritatum ante & poſt impactum. Jam ſi angulus B C K, finitæ quantitatis eſſet, recta B K, finitam haberet ad rectas B C, K C, rationem, quæ decreſcente angulo B C K, ſemper minuitur adeóque infiniteſima evadit, dum angulus B C K eſt infiniteſimus; eſt igitur B K, ſeu vis quâ corpus curvam premit in C, quantitas non major infiniteſimâ primi ordinis; verùm quia in circulo E K : B K = B K : K L, erit E K, quantitas infiniteſima reſpectu B K, quemadmodum, ex demonſtratis B K, infiniteſima eſt reſpectu B C, aut K C, adeóque reſpectu K L; ergò celeritas ſeu vis in puncto C amiſſa non ſuperat quantitatem infiniteſimam ſecundi ordinis. Quare cùm velocitas quam corpus per ſingula curvæ latera A B, B C, C D, amittit, non excedat quantitatem infiniteſimam ſecundi ordinis, per latera curvæ numero infinita, hoc eſt, per arcum curvæ finitum, non poteſt celeritatem amittere majorem quantitate infiniteſimâ primi ordinis quæ eſt ſumma quantitatum infiniteſimarum ſecundi ordinis; eâ igitur quantitate neglectâ, corpus eodem modo motum ſuum in curvâ continuat ac ſi nihil virium amiſiſſet. Q. e. D.

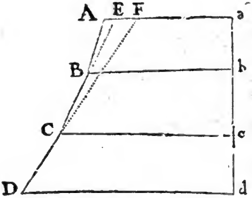
84. Si

Digitized by Google

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

tes & tempora conjunctim ; id eſt in duplicata ratione temporum. Et corpore ſurſum projecto gravitas uniformis vires imprimit & velocitates aufert temporibus proportionales; ac tempora aſcendendi ad altitudines ſummas ſunt ut velocitates auferendæ, & altitudines illæ ſunt ut velocitates ac tempora conjunctim : ſeu in duplicata ratione velocitatum. Et corporis ſecundum rectam quamvis projecti motus à projectione oriundus cum motu à gravitate oriundo componitur. Ut ſi corpus *A* motu ſolo projectionis dato tempore deſcribere poſſet rectam *AB* & motu ſolo cadendi eodem tempore deſcribere poſſet altitudinem *AC* : compleatur parallelogrammum *ABDC*, & corpus illud motu compoſito reperietur in fine temporis in loco *D*; & curva linea *AED*, quam corpus illud deſcribet, erit parabola quam recta *AB* tangit in *A*, & cujus ordinata *B D* eſt ut *ABq*. Ab iiſdem legibus & corollariis pendent demonſtrata de





84. Si grave ex quiete in A, per plana contigua A B, B C, C D, deſcendat, & flexus ſeu anguli B, C, motui non officiant, velocitas gravis per plana inclinata deſcendentis, æqualis eſt velocitati quam lapſu perpendiculari haberet in pari ab horizonte diſtantiâ ∴ Dem..... Ductis rectis Aa, Bb, Cc, Dd, horizonti parallelis & perpendiculo, a d, demiſſo, producantur C B, D C, donec occurrant rectæ A a, in E & F; velocitas lapſu per A B, acquiſita æqualis eſt velocitati quæ acquireretur lapſu per E B, aut etiam per A B, (81), adeóque cum flexus B, motui non officiat (per hyp.) grave motum ſuum per planum B C, eodem modo continuat, ac ſi ex puncto E, per planum unicum E C, deſcendiſſet; eſt igitur velocitas in C, æqualis velocitati lapſu perpendiculari per, a c, acquiſitæ. Similiter oſtenditur velocitatem in D æqualem eſſe velocitati in d. Q. e. D.

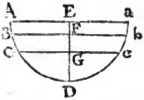
85. Augeatur planorum numerus, & ſingulorum longitudo minuatur in infinitum ut linea A B C D curva evadat, & quia anguli B, C, D, velocitati corporis non officiunt (83), manifeſtum eſt, gravis per curvam deſcendentis velocitatem in ſingulis curvæ punctis B, C, D, æqualem eſſe velocitati lapſu perpendiculari acquiſitæ in punctis correſpondentibus b, c, d.

86. Si

de temporibus oſcillantium pendulorum, ſuffragante horologiorum experientiâ quotidianâ: Ex his iiſdem & lege tertiâ *Chriſtophorus Wrennus* Eques auratus, *Johannes Walliſius S. T. D.* & *Chriſtianus Hugenius*, ætatis ſuperioris geometrarum facile principes, regulas congreſſuum & reflexionum durorum corporum ſeorſim invenerunt, & eodem fere tempore cum *Societate Regiâ* communicarunt, inter ſe (quoad has leges) omnino conſpirantes: & primus quidem *Walliſius*, deinde *Wrennus* & *Hugenius* inventum prodiderunt. Sed & veritas comprobata eſt à *Wrenno* coram *Regiâ Societate* per experimentum pendulorum: quod etiam

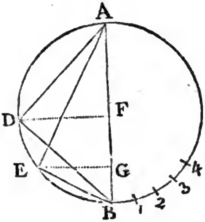
AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

86. Si grave deſcendat per curvam quamlibet A B C D, ductis lineis A a, B b, C c, horizonti parallelis,



& ex puncto curvæ infimo D, rectâ D E, ad horizontem normali, patet (85) gravis per arcum A D, vel a D, deſcendentis eandem eſſe velocitatem in punctis æquè altis B & b, C & c. Quarè cum ex A, pervenit ad punctum infimum D, ex impetu per lapſum acquiſito aſcendit per arcum D a, ad punctum a, æquè altum, in quo omnis velocitas extinguitur, & in punctis correſpondentibus B & b, C & c, eandem tam in aſcenſu quam in deſcenſu habet velocitatem (26). Si verò arcus D a, arcui D A, ſimilis & æqualis fuerit, ſinguli arcus æquè alti C D & D c, B D & D b, A D & D a, æqualibus reſpectivè temporibus percurruntur (26).

87. Velocitas gravis per quemvis circuli arcum E B, deſcendentis in puncto infimo B, eſt ad velocitatem quam lapſu perpendiculari per totam diametrum A B acquireret, ut chorda E B, ad diametrum A B ..... *Dem* ... Ductâ E G, horizonti parallelâ adeóque ad diametrum A B, perpendiculari, velocitas per arcum E B, acquiſita, æqualis eſt velocitati acquiſitæ per G B (85). Eſt ergò ad velocitatem per A B, acquiſitam in ratione ſubduplicatâ G B, ad A B (28.) Sed



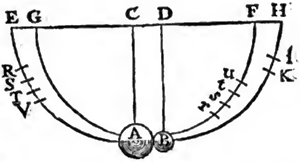
propter triangula rectangula ſimilia A E B, B G E, G B: E B = E B: A B, adeóque E B, ad A B, in ratione ſubduplicâ G B ad A B; velocitas igitur per arcum E B, acquiſita in B, eſt ad velocitatem per A B, acquiſitam ut chorda E B, ad diametrum A B. Q. e. D.

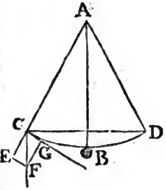
88. *Coroll.* Ductâ quâvis alterâ chordâ D B, erit etiam velocitas per arcum D B, acquiſita in B, ad velocitatem per diametrum A B, ut D B, ad A B, ac proindè velocitates per arcus D B, E B, acquiſitæ in puncto infimo B, ſunt inter ſe ut horum arcuum chordæ; undè ſi capiantur arcus B 1, B 2, B 3, B 4, quorum chordæ ſint reſpectivè ut 1. 2. 3. 4. velocitas gravis per arcus illos deſcendentis in puncto B, erunt ut 1. 2. 3. 4.

Digitized by Google

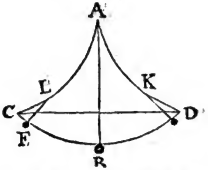
Axiomata, ſive Leges Motus.

etiam Clariſſimus *Mariottus* libro integro exponere mox dignatus eſt. Verùm, ut hoc experimentum cum theoriis ad amuſſim congruat, habenda eſt ratio, cùm reſiſtentiæ aëris, tum etiam vis elaſticæ concurrentium corporum. Pendeant corpora ſphærica *A*, *B* filis parallelis & æqualibus *AC*, *BD*, à centris *C*, *D*. His centris & inter-





89. Si pendulum B, circà punctum fixum A, rotetur, & globus B, filo A B, appenſus inſtar puncti conſideretur, arcum circuli C B D, deſcribet, idemque globo huic motus accidet ac ſi in ſuperficie ſphæricâ immotâ & perfectè lævigatâ ſublato filo volveretur.... *Dem.*... Ad punctum C, adducatur globus B, & exinde demittatur; & recta C F, horizonti perpendicularis vim gravitatis acceleratricem in perpendiculo exponat; ea vis reſolvatur in duas vires, quarum una exhibeatur rectâ C E, ad arcum ſeu tangentem in C, perpendiculari; altera verò tangente C G; vis C E, quâ filum A C, directè trahitur ad globi motum nihil confert & ſolâ vi ut C G, urgetur; arcus verò C B D, conſiderari poteſt ut polygonum cujus latus unum in C, poſitionem habet tangentis C G, & ſi globus per planum C G, vi gravitatis urgeatur, ſublato filo vis C E, plano C G, tota ſuſtinetur, & globus ſolâ vi C G, ad motum in plano C G, ſollicitatur. Cum igitur idem in omnibus punctis arcûs C B D, eodem modo demonſtrari poſſit, patet filum A C, ſuperficiei C B D, vices ſubire, & in utroque caſu motum globi per arcum C B D, eâdem ratione perfici. Q. e. D.



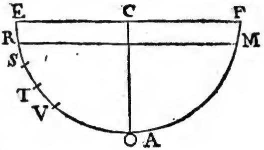
90. *Coroll.* 1. Pendulum A B, inter duas laminas curvas A L C, A K D, immotas & ſeſe contingentes in A, ità oſcilletur ut filum A B, in ſitu ad horizontem perpendiculari utramque laminam tangat in A; dum verò oſcillatur pendulum, curvis laminis filum circumplicetur eaſque perpetuò tangat ut in L & K; per hanc fili ad laminas applicationem continuò impeditur motus penduli in circulo, aliamque curvam C B D, deſcribere cogitur; & eodem quo uſi fuimus ratiocinio (89), demonſtratur pendulum in hac curvâ eodem modo moveri ac ſi grave B, libere & abſque filo per curvam immotam & perfectè lævigatam C B D, incederet.

91. *Coroll.* 2. Quapropter omnia quæ de motu gravium in curvis ſuperficiebus demonſtrata fuere, motui penduli per eaſdem curvas oſcillantis conveniunt. Nempe 1°. Penduli velocitas ſemper æqualis eſt velocitati quam acquireret cadendo per altitudinem perpendicularem arcui percurſo correſpondentem (85). 2°. Pendulum ex C demiſſum, vi gravitatis urgente-

Digitized by Google

intervallis deſcribantur ſemicirculi *E A F*, *G B H* radiis *C A*, *D B* biſecti. ([b]) Trahatur corpus *A* ad arcûs *E A F* punctum quodvis *R*, & (ſubducto corpore *B*) demittatur inde, redeatque poſt unam oſcillationem ad punctum *V*. Eſt *R V* retardatio ex reſiſtentia aëris. Hujus *R V* fiat *S T* pars quarta ſita in medio; ita ſcilicet ut *R S* & *T V* æquentur; ſitque *R S* ad *S T* ut 3 ad 2. Et iſta *S T* exhibebit retardationem in deſcenſu ab *S* ad *A* quam proximè. Reſtituatur corpus *B* in locum ſuum. Cadat corpus *A* de puncto *S*, & velocitas ejus in loco reflexionis *A* ſine errore ſenſibili tanta erit, ac ſi in vacuo cecidiſſet de loco *T*. Exponatur igitur

te ad punctum infimum B, deſcendet, & ex impetu concepto, per arcum B D, aſcendet ad eandem altitudinem D, ibique omni velocitate amiſſâ, vi gravitatis impellente ad punctum infimum B, relabetur, amiſſamque recuperans velocitatem redibit ad punctum C, atque ità continuas oſcillationes itu & reditu in curvâ C B D, perficiet (86).



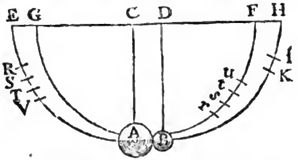
92. *Coroll.* 3. Si nulla foret medii reſiſtentia, nullaque circà laminas incurvatas aut centrum rotationis frictio, æquales & perpetuæ forent pendulorum oſcillationes; verùm has ob cauſas ſingulis vibrationibus, licet inſenſibiliter, minuitur penduli velocitas, arcuſque continuò breviores deſcribit, ac tandem omninò quieſcit.

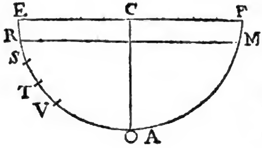
93. *Coroll.* 4. Velocitates ejuſdem penduli in circuli peripheriam excurrentis, ſunt in puncto infimo ut arcuum deſcriptorum chordæ (88).

([b]) 94. Trahatur corpus A, ad arcûs E A F, punctum quodvis R, & demittatur indè, ſublatâ medii reſiſtentiâ ad eandem altitudinem M, aſcendere & rursùs ad punctum R, redire debet (92). Cum autem poſt unam oſcillationem ex itu & reditu compoſitam perveniat (ex hyp.) ad punctum V, arcus R V exponet medii retardationem in duplici aſcenſu & deſcenſu; quarè ut habeatur medii retardatio in uno tantum deſcenſu, ſumenda eſt quarta pars totius retardationis, id eſt quarta pars arcus R V, dummodo ille deſcenſus neque ex puncto ſupremo R, neque ex infimo V ordiatur: nam cum major ſit medii retardatio in arcu majori quam in minori, ſemperque fiant minores arcus à pendulo oſcillante deſcripti, inæquales quoque erunt retardationes in ſingulis arcubus, & retardatio deſcenſus per R A, major erit quartâ parte totius retardationis R V ut retardatio ultimi aſcenſus A V, minor erit quartâ parte totius retardationis R V. Hoc autem aut ſimili calculo determinavit *Newtonus* punctum S tale ut retardatio in deſcenſu per S A ſit quarta pars totius retardationis R V. Dicatur arcus R A, 1, arcus R V, 4 *b*, arcus quæſitus S A *x*; ſintque retardationes arcubus deſcriptis proportionales, erit arcus S A (*x*) ad arcum R A (1) ut retardatio arcus S A quæ ſtatuitur eſſe *b*, ſeu quarta pars totius R V, ad retardationem primi arcus R A quæ erit *b* : *x*. Quærantur ſucceſ-

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

tur hæc velocitas per chordam arcus TA. Nam velocitatem penduli in puncto infimo eſſe ut chordam arcûs, quem cadendo deſcripſit, propoſitio eſt geometris notiſſima. Poſt reflexionem perveniat corpus A ad locum s, & corpus B ad locum k. Tollatur corpus B & inveniatur locus v; à quo ſi corpus A demittatur & poſt unam oſcillationem redeat ad locum r; ſit $s\,t$ pars quarta ipſius $r\,v$ ſita in medio, ita videlicet ut $r\,s$ & $t\,v$ æquentur; & per chordam arcus $t\,A$ exponatur velocitas, quam corpus A proxime poſt reflexionem habuit in loco A. (c) Nam t erit locus ille verus & correctus, ad quem corpus A, ſublatâ aeris reſiſtentiâ, aſcendere debuiſſet. Simili methodo corrigendus erit locus k, ad quem corpus B aſcendit, & inveniendus locus l, ad quem corpus illud aſcen-





ſitè retardationes ſecundi, tertli, quartive arcus eâdem ratione; arcus autem ſecundus eſt æqualis primo R A, dempta ejus retardatione $b:x$. Tertius arcus æqualis ſecundo demptâ ejus retardatione, & ſic deinceps, omnes verò illæ retardationes ſimul ſumptæ æquabuntur toti retardationi R V ſeu $4\,b$; unde fit æquatio ex quâ valor arcus S A, ſeu x, obtinebitur, per approximationem autem invenietur æqualis $1\frac{3\,b}{2}$, ſumatur itaque R S æqualis quartæ parti cum ejus ſemiſſe totius retardationis R V, retardatio per arcum S A erit æqualis S T quartæ parti totius retardationis R V, ideòque cadat corpus ex puncto S, ejus celeritas in A eadem eſt ſine errore ſenſibili, ac ſi in vacuo deciſſet ex T.

(c) 95. t, (fig. *Newt.*), erit locus verus & correctus ad quem corpus A, ſublatâ aëris reſiſtentiâ aſcendere debuiſſet; nam corpus A, ex t, in medio non reſiſtente deſcendens, in puncto infimo A, eam haberet velocitatem quâ poſſet arcum A t, aſcendendo deſcribere (91), & quâ ob aëris reſiſtentiam, nonniſi arcum A s, (94) percurreret, ergò cum poſt reflexionem aſcendat ad s, eam habet in A velocitatem, quâ in medio non reſiſtente ad punctum t aſcenderet.

Digitized by Google

aſcendere debuiſſet in vacuo. Hoc pacto experiri licet omnia, perinde ac ſi in vacuo conſtituti eſſemus. Tandem ducendum erit corpus *A* (ut ita dicam) in chordam arcûs *T A*, quæ velocitatem ejus exhibet, ut habeatur motus ejus in loco *A* proximè ante reflexionem; deinde in chordam arcus *t A*, ut habeatur motus ejus in loco *A* proxime poſt reflexionem. Et ſic corpus *B* ducendum erit in chordam arcûs *B l*, ut habeatur motus ejus proximè poſt reflexionem. Et ſimili methodo, ubi corpora duo ſimul demittuntur de locis diverſis, inveniendi ſunt motus utriuſque tam ante, quam poſt reflexionem; & tum demum conferendi ſunt motus inter ſe & colligendi effectus reflexionis. Hoc modo in pendulis pedum decem rem tentando, idque in corporibus tam inæqualibus quam æqualibus, & faciendo ut corpora de intervallis ampliſſimis, putà pedum octo vel duodecim vel ſexdecim, concurrerent; reperi ſemper ſine errore trium digitorum in menſuris, ubi corpora ſibi mutuo directè occurrebant, æquales eſſe mutationes motuum corporibus in partes contrarias illatæ, atque ideo actionem & reactionem ſemper eſſe æquales. Ut ſi corpus *A* incidebat in corpus *B* quieſcens cum novem partibus motûs, & amiſſis ſeptem partibus pergebat poſt reflexionem cum duabus; corpus *B* reſiliebat cum partibus iſtis ſeptem. Si corpora obviam ibant, *A* cum duodecim partibus & *B* cum ſex, & redibat *A* cum duabus; redibat *B* cum octo, factâ detractione partium quatuordecim utrinque. De motu ipſius *A* ſubducantur partes duodecim & reſtabit nihil: ſubducantur aliæ partes duæ, & fiet motus duarum partium in plagam contrariam: & ſic de motu corporis *B* partium ſex ſubducendo partes quatuordecim, fient partes octo in plagam contrariam. Quod ſi corpora ibant ad eandem plagam, *A* velocius cum partibus quatuordecim, & *B* tardius cum partibus quinque, & poſt reflexionem pergebat *A* cum quinque partibus; pergebat *B* cum quatuordecim, facta tranſlatione partium novem de *A* in *B*. Et ſic in reliquis. A congreſſu & colliſione corporum nunquam mutabatur quantitas motus, quæ ex ſummâ motuum conſpirantium & differentiâ contrariorum colligebatur. Nam er-

Digitized by Google

rorem digiti unius & alterius in menſuris tribuerim difficultati peragendi ſingula ſatis accuratè. Difficile erat, tum pendula ſimul demittere ſic, ut corpora in ſe mutuo impingerent in loco infimo *AB*; tum loca *s*, *k* notare, ad quæ corpora aſcendebant poſt concurſum. Sed & in ipſis corporibus pendulis inæqualis partium denſitas, & textura aliis de cauſis irregularis, errores inducebant.

Porro ne quis objiciat regulam, ad quam probandam inventum eſt hoc experimentum, præſupponere corpora vel abſolutè dura eſſe, vel ſaltem perfectè elaſtica, cujuſmodi nulla reperiuntur in compoſitionibus naturalibus; (d) addo quod experimenta jam deſcripta ſuccedunt in corporibus mollibus æque ac in duris, nimirum à conditione duritiei neutiquam pendentia. Nam ſi regula illa in corporibus non perfectè duris tentanda eſt, debebit ſolummodo reflexio minui in certâ proportione pro quantitate vis elaſticæ. In theoriâ *Wrenni* & *Hugenii* corpora abſolutè dura redeunt ab invicem cum velocitate congreſſûs. (e) Certiùs id affirmabitur de perfectè elaſticis. (f) In imperfectè elaſticis velocitas reditûs minuenda eſt ſimul cum vi elaſticâ; propterea quod vis illa, (niſi ubi partes corporum ex congreſſu læduntur, vel extenſionem aliqualem quaſi ſub

(d) 96. Experimenta jam deſcripta ſuccedunt in corporibus mollibus & non elaſticis æquè ac in duris & elaſticis, ut potè non à conditione duritiei & elaſticitatis, ſed tantum ab actionis & reactionis æqualitate & oppoſitione pendentia; nam ſi regula illa in corporibus non perfectè elaſticis tentanda eſt, ut ex ipſorum motibus antè conflictum inveniantur motus poſt conflictum, debebit ſolummodò reflexio minui in certâ proportione, pro quantitate vis elaſticæ (52).

(e) 97. Certiùs id affirmabitur de perfectè elaſticis; corpora enim perfectè dura, ſeu quorum partes nullâ vi finitâ ſeparari aut flecti poſſunt, nullâ quoque vi reſtitutivâ aut repulſivâ pollere videntur; adeóque cum nihil ſine causâ fiat, corporum perfectè durorum concurrentium nulla videtur eſſe poſſe reflexio.

(f) 98. In imperfectè elaſticis, velocitas reditûs minuenda eſt cum vi elaſticâ, propterea quod vis illa, licet imperfecta, certa tamen ac determinata eſt, in iiſdem corporibus, niſi ubi partes corporum ex congreſſu læduntur, vel extenſionem aliqualem quaſi ſub malleo patiuntur; dum enim corporis elaſtici fibræ ex ictu flectuntur, ſi aliqua abrumpatur fibra, ea non ſeſe reſtituit, adeóque vis corporis reſtitutiva minuitur; ſi verò fibræ extendantur, ut ferri lamina repetitis mallei ictibus in longum diducitur, pars ictûs huic fibrarum extenſioni adhibita, vi reſtitutivæ detrahitur. His cauſis addi poteſt inteſtinus partium corporis percuſſi motus ſono

Digitized by Google

ſub malleo patiuntur,) certa ac determinata ſit (quantum ſentio) faciatque ut corpora redeant ab invicem cum velocitate relativâ, quæ ſit ad relativam velocitatem concurſus in datâ ratione. Id in pilis ex lanâ arctè conglomeratâ & fortiter conſtrictâ ſic tentavi. Primum demittendo pendula & menſurando reflexionem, inveni quantitatem vis elaſticæ; deinde per hanc vim determinavi reflexiones in aliis caſibus concurſuum, & reſpondebant experimenta. Redibant ſemper pilæ ab invicem cum velocitate relativâ, quæ eſſet ad velocitatem relativam concurſus ut 5 ad 9. circiter. Eâdem fere cum velocitate redibant pilæ ex chalybe: aliæ ex ſubere cum paulo minore: in vitreis autem proportio erat 15 ad 16 circiter. Atque hoc pacto lex tertia quoad ictus & reflexiones per theoriam comprobata eſt, quæ cum experientiâ plane congruit.

In

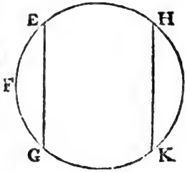
ſono ipſo ſatis indicatus, qui in reflexionem non impenditur. Hæc materia variis *Rizzeti* experimentis illuſtratur in *Commentariis Inſtituti Bononienſis*. Tria globulorum vitreorum paria ſibi paravit *Rizzetus*; globuli primi paris diametrum habebant trium unciarum, ſecundi duarum, tertii unius, ità ut eſſent diverſorum parium diametri inter ſe, ut 3. 2. 1. Fecit ut globuli primi paris filo appenſi ſimul congrederentur, notavitque velocitatem reſpectivam quam habuerunt vel ante vel poſt ictum, detractâ tamen, more *Newtoniano*, aëris reſiſtentiâ; idemque tentavit tum in 2°. tum in 3°. pari. In 1°. globulorum pari cum velocitas reſpectiva ante ictum fuiſſet 11, fuit poſt ictum 10; in 1°. pari cum fuiſſet antè ictum 16, fuit poſt ictum 15; in 3°. pari cum fuiſſet antè ictum 31, fuit poſt ictum 30. Undè velocitatis reſpectivæ defectus erat in primo pari 1: 11. in 2°. pari 1: 16. in 3°. pari 1: 31; illi autem defectus ſunt ferè diametris 3, 2, 1. proportionales. Aliud experimentum tentavit *Rizzetus*. Chordam calybeam duos pedes longam horizontaliter poſitam variis modis tendebat, donec tandem repererit tres chordæ tenſiones, quæ efficerent ut tempora quibus chorda pulſa ſeſe reſtituebat, forent ut 3. 2. 1. Eas autem tenſiones ſe aſſecutum eſſe, ex graviori vel acutiori chordarum ſono intelligebat; in ſingulis tenſionibus globum eburneum cujus diameter erat duarum unciarum, filo decem pedes longo appenſum & in medio tantiſper complanatum in chordam demittebat, & detractâ aëris reſiſtentiâ, velocitatem reſpectivam ante & poſt ictum notabat. Obſervavit autem velocitatem antè ictum eſſe ad velocitatem poſt ictum, ut 11, ad 10, in 1ª tenſione, cum chorda pulſa reſtitueretur tempore 3; ut 16 ad 15 in 2ª tenſione, cum chorda reſtitueretur tempore 2; tandem ut 31, ad 30, in 3ª tenſione, cum chorda reſtitueretur tempore 1; unde concludit defectus ſingulos velocitatis poſt ictum, temporibus reſtitutionum eſſe proportionales. Manente igitur corporum homogeneorum magnitudine & figurâ, conſtans obſervatur ratio velocitatis reſpectivæ poſt ictum ad velocitatem reſpectivam ante ictum; ſed mutatâ magnitudine, experimenta *Rizzeti* oſtendunt defectus velocitatis reſpectivæ poſt ictum in globis homogeneis eſſe in ratione diametrorum, aut etiam in ratione temporum quibus globi compreſſi reſtituuntur.

Digitized by Google

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

In attractionibus rem ſic breviter oſtendo. Corporibus duobus quibuſvis *A*, *B*, ſe mutuò trahentibus, concipe obſtaculum quodvis interponi, quo congreſſus eorum impediatur. Si corpus alterutrum *A* magis trahitur verſus corpus alterum *B*, quam illud alterum *B* in prius *A*, obſtaculum magis urgebitur preſſione corporis *A* quam preſſione corporis *B*; proindeque non manebit in æquilibrio. Prævalebit preſſio fortior, facietque ut ſyſtema corporum duorum & obſtaculi moveatur in directum in partes verſus *B*, motuque in ſpatiis liberis ſemper accelerato abeat in infinitum. Quod eſt abſurdum & legi primæ contrarium. Nam per legem primam debebit ſyſtema perſeverare in ſtatu ſuo quieſcendi vel movendi uniformiter in directum, proindeque corpora æqualiter urgebunt obſtaculum, & idcirco æqualiter trahentur in invicem. (g) Tentavi hoc in magnete & ferro. Si hæc in vaſculis propriis ſeſe contingentibus ſeorſim poſita, in aquâ ſtagnante juxta fluitent; neutrum propellet alterum, ſed æqualitate attractionis utrinque ſuſtinebunt conatus in ſe mutuos, ac tandem in æquilibrio conſtituta quieſcent.

Sic etiam gravitas inter terram & ejus partes mutua eſt. Secetur terra *FI* plano quovis *EG* in partes duas *EGF* & *EGI*: & æqualia erunt harum pondera in ſe mutuo. Nam ſi plano alio *HK* quod priori *EG* parallelum ſit, pars major *EGI* ſecetur in partes duas *EGKH* & *HKI*, quarum *HKI* æqualis ſit parti prius abſciſſæ *EFG*: manifeſtum eſt quod pars media *EGKH* pondere proprio in neutram partium extremarum propendebit, ſed



(g) 99. Si magnes ſuberis fruſto, ſimiliterque ferrum alio ſuberis fruſto imponantur, ut tam magnes quam ferrum in aquâ liberè ſtagnent, æquali motûs quantitate ſibi mutuò obviam eunt, ità ut eorum celeritates ſint in ratione ponderum reciprocâ; dum verò ad contactum pervenerunt, in æquilibrio conſiſtunt. Quarè hoc experimento manifeſtum eſt æqualem eſſe ferri in magnetem & magnetis in ferram actionem. Similiter ſi quis in cymbâ aquis annatante poſitus, cymbam alte-

ſed inter utramque in æquilibrio, ut ita dicam, ſuſpendetur, & quieſcet. Pars autem extrema *HKI* toto ſuo pondere incumbet in partem mediam, & urgebit illam in partem alteram extremam *E G F*; ideoque vis quâ partium *H K I* & *EGKH* ſumma *E G I* tendit verſus partem tertiam *E G F*, æqualis eſt ponderi partis *HKI*, id eſt ponderi partis tertiæ *E G F*. Et propterea pondera partium duarum *E G I*, *E G F* in ſe mutuo ſunt æqualia, uti volui oſtendere. Et niſi pondera illa æqualia eſſent, terra tota in libero æthere fluitans ponderi majori cederet, & ab eo fugiendo abiret in infinitum.

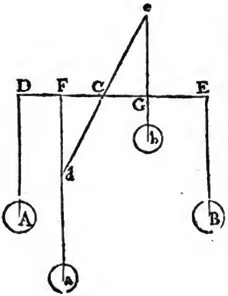
Ut corpora in concurſu & reflexione idem pollent, quorum velocitates ſunt reciprocè ut vires inſitæ: (h) ſic in movendis inſtrumentis mechanicis agentia idem pollent & conatibus contrariis ſe mutuo ſuſtinent, quorum velocitates ſecundum determinationem virium æſtimatæ, ſunt reciprocè ut vires. Sic pondera æquipollent ad movenda brachia libræ, quæ oſcillante librâ ſunt reciprocè ut eorum velocitates ſurſum & deorſum: hoc eſt pondera, ſi rectà aſcendunt & deſcendunt, æquipollent, quæ ſunt reciprocè ut punctorum à quibus ſuſpenduntur diſtantiæ ab axe libræ; ſin planis obliquis aliiſve admotis obſtaculis impedita aſcendunt vel deſcendunt obliquè, æquipollent, quæ ſunt reciprocè ut aſcenſus & deſcenſus, quâtenus facti ſecundum perpendiculum: idque ob determinationem gravitatis deorſum. Similiter in trochlea ſeu polyſpaſto vis manûs funem directè trahentis, quæ ſit ad pondus vel directè vel obliquè aſcendens ut velocitas aſcenſus perpendicularis ad velocitatem manus funem trahentis, ſuſtinebit pondus. In horologiis & ſimilibus inſtrumentis, quæ ex rotulis commiſſis conſtructa ſunt, vires contrariæ ad motum rotularum promovendum

alteram liberè fluitantem ope funis trahat, vel conto aliove inſtrumento repellat, cymbæ in partes contrarias cum æquali motûs quantitate ferentur, ità ut earum velocitates ſint in ratione reciprocâ ponderum.

(h) 100. In movendis inſtrumentis mechanicis, agentia idem pollent & conatibus contrariis ſe mutuo ſuſtinent, quorum velocitates ſecundùm directionem virium æſtimatæ ſunt reciprocè ut vires abſolutæ..., *Dem*. .... Duæ potentiæ, ſeu,

AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

dum & impediendum, ſi ſunt reciprocè ut velocitates partium rotularum in quas imprimuntur, ſuſtinebunt ſe mutuò. ([i]) Vis cochleæ ad premendum corpus eſt ad vim manûs manubrium circumagentis, ut circularis velocitas manubrii eâ in parte ubi à



ſeu, quod idem eſt, duo pondera ope machinæ cujuſvis datæ in ſe mutuò ità agant, ut pondus unum ſecundùm propriam directionem moveri nequeat, quin pondus alterum contrà propriam illius directionem rapiat; ſi loco machinæ datæ ſubſtituatur vectis cujus longitudo & hypomoclion talia ſint, ut duo pondera data, vectis extremitatibus appenſa, eâdem celeritate ac in machinâ datâ ſeſe mutuò moveant, iidem erunt in vecte & in machinâ datâ conatus ponderum in ſe mutuò, eadem ipſorum momenta; vis enim eadem requiritur ad eandem velocitatem ſecundùm eandem directionem in iiſdem corporibus producendam. Itaque vectis D E, horizontalis, cum appenſis ponderibus A & B, rotetur circa hypomoclion C, ut ſitum d e, obtineat, & producatur filum a d, uſque ad F; pondus A, ſecundum propriam directionem percurrit ſpatium F d; & pondus B, contrà propriam directionem eodem tempore percurrit ſpatium G e; adeóque horum ponderum velocitates ſunt ſemper ut ſpatia F d, G e, eodem tempore percurſa. Momentum ponderis a, eſt ut a × F C; momentum ponderis b, eſt ut b × C G (47). Sed ob ſimilitudinem triangulorum F C D, e C G; F C : C G = F d : G e. Ergo momenta ponderum a & b, ſunt inter ſe ut a × F d, & b × G e; ſeu ſunt ut facta ex ponderibus in ſua reſpectivè ſpatia eodem tempore percurſa, adeóque etiam ut facta ex ponderibus in ſuas reſpectivè velocitates; quare ſi facta illa æqualia ſint, aut quod idem eſt, ſi pondera ſeu vires ſint reciprocè ut velocitates ſecundùm directiones virium æſtimatæ, erit æquilibrium. Q. e. D.

101. *Coroll.* Cùm ex demonſtratis, momenta virium ſint ſemper ut facta ex vi quâlibet in ſuam velocitatem, ſeu in ſpatium quod dato tempore ſecundùm propriam directionem ex diſpoſitione machinæ percurrere debet, omnium machinarum vires metiri licet.

([i]) 102. Vis cochleæ ad premendum corpus eſt ad vim manûs manubrium circumagentis, ut circularis velocitas manubrii eâ in parte ubi à manu urgetur, ad velocitatem progreſſivam cochleæ verſus corpus preſſum. Nam ſi reſiſtentia corporis comprimendi ut pondus movendum conſideretur, erit (101) momentum vis manubrium circumagentis, ut factum ex vi illâ in ſuam velocitatem, & momentum reſiſtentiæ ut factum ex reſiſtentiâ in ſuam quoque velocitatem; ut ergò ſit æquilibrium, debet eſſe reſiſtentia ad vim manûs, ut circularis velocitas manûs ad velocitatem reſiſtentiæ, ſive ad velocitatem progreſſivam cochleæ; aut quia manus deſcribit circulum cujus radius eſt manubrii longitudo, è centro cochleæ uſque ad manum ſumpta, dum interea cochlea per altitudinem ſeu diſtantiam duarum helicum progreditur, vis cochleæ ad premendum corpus erit ad vim manûs manubrium

à manu urgetur, ad velocitatem progreſſivam cochleæ verſus corpus preſſum. ([k]) Vires quibus Cuneus urget partes duas ligni fiſſi ſunt ad vim mallei in cuneum, ut progreſſus cunei ſecundum determinationem vis à malleo in ipſum impreſſæ, ad velocitatem quâ partes ligni cedunt cuneo, ſecundum lineas faciebus cunei perpendiculares. Et par eſt ratio machinarum omnium.

Harum efficacia & uſus in eo ſolo conſiſtit, ut diminuendo velocitatem augeamus vim, & contra: Unde ſolvitur in omni aptorum inſtrumentorum genere problema, *Datum pondus datâ vi movendi*, aliamve datam reſiſtentiam vi datâ ſuperandi. Nam ſi machinæ ita formentur, ut velocitates agentis & reſiſtentis ſint reciprocè ut vires; agens reſiſtentiam ſuſtinebit: & majori cum velocitatum diſparitate ([l]) eandem vincet. Certè ſi tanta ſit velocitatum diſparitas, ut vincatur etiam reſiſtentia omnis, quæ tam ex contiguorum & inter ſe labentium corporum attritione, quam ex continuorum & ab invicem ſeparandorum cohæſione & elevandorum ponderibus oriri ſolet; ſuperatâ omni eâ reſiſtentiâ, vis redundans accelerationem motus ſibi proportionalem, partim in partibus machinæ, partim in corpore reſiſtente producet. Cæterum mechanicam tractare

nubrium circumagentis ut peripheria circuli prædicto radio deſcripti ad diſtantiam duarum helicum.

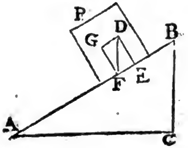
([k]) 103. Momentum cunei eſt ut factum (101), ex vi impreſſâ à malleo in cunei velocitatem, ſeu in ſpatium quod dato tempore percurrit cuneus ſecundùm directionem vis à malleo impreſſæ; momentum verò reſiſtentiæ ligni cuneo findendi eſt ut factum ex illâ reſiſtentiâ in velocitatem, quâ partes ligni cedunt cuneo ſecundùm lineas faciebus cunei perpendiculares, juxtà quarum directionem partes ligni à cuneo moventur; eſt etiam momentum reſiſtentiæ ut factum ex reſiſtentiâ ligni in ſpatium quod partes ligni dato tempore deſcribunt, ſecundùm lineas faciebus cunei perpendiculares. Quoniam igitur cuneus agens ſecundùm lineam baſi ipſius perpendicularem, totam ſuam altitudinem percurrit, dum partes ligni totâ baſis cunei latitudine à ſe invicem removentur, erit (in caſu æquilibrii) vis cunei ad ligni reſiſtentiam, ut cunei altitudo ad latitudinem ipſius baſis.

([l]) 104. Attritionem ſeu frictionem, aliaſque reſiſtentias ex craſſitie, rigiditate & funium flexione ortas in machinis conſiderare neceſſum eſt, graves alioquin in praxi errores naſcerentur.

Hanc difficilem materiam *Sturmius*; *Leibnitius*, *Amontonius*, *Parentius*, *La-Hirius* & alii tractarunt. *Bulſingerus* Tom. 2°. Comment. *Acad. Petropol.* ad tentandam experimentis frictionum menſuram duo proponit theoremata quæ ob eorum facilitatem & uſum hic exſcribere non abs re erit.

Digitized by Google

re non eſt hujus inſtituti. Hiſce volui tantùm oſtendere, quàm latè pateat quàmque certa ſit lex tertia motûs. Nam ſi æſtimetur agentis actio ex ejus vi & velocitate conjunctim; & ſimiliter reſiſtentis reactio æſtimetur conjunctim ex ejus partium ſingularum velocitatibus & viribus reſiſtendi ab earum attritione, cohæſione, pondere, & acceleratione oriundis; erunt actio & reactio, in omni inſtrumentorum uſu, ſibi invicem ſemper



Suprà horizontem A C, experimento ſæpius inſtituto, elevetur planum A B, ad angulum B A C, ita ut ſi corpus plano A B, ad hunc angulum elevato imponatur, tantùm non deſcendat; deſcendat autem ſi angulus nonnihil augeatur: & hæreat cum aliquâ adverſus deſcenſum renitentiâ, ſi angulus minuatur. Hic angulus dicitur angulus quietis, eoque invento ſic inferatur.

Uti ſinus totus ad ſinum rectum anguli quietis, ità pondus abſolutum P, ad frictionem ejus ſuper plano ad prædictum angulum inclinato. Atque iterùm.

Uti Radius ad tangentem anguli quietis, ità pondus abſolutum P, ad frictionem ejus ſuper plano horizontali, cùm trahitur in directione ad horizontem parallelâ .... *Dem*... Linea D F, horizonti perpendicularis, pondus abſolutum P, ſeu vim totam quâ corpus in perpendiculo deſcendere nititur, exponat; & ductâ D E, ad planum A B, normali; vis D F, in binas vires nempè D E, plano perpendicularem, & E F, ſeu D G, plano parallelam reſolvitur (41); vis D E, à plano A B, etiam perfectè lævigato tota ſuſtinetur, & ſolâ vi D G, ſeu E F, pondus P, nititur juxtà plani directionem deſcendere; Cùm igitur ob frictionem in plano aſpero A B, tantùm non deſcendat, erit frictio æqualis vi E F; eſt itaque pondus abſolutum P, ad frictionem ejus ſuper plano inclinato A B, ut D F, ad F E, hoc eſt, ob angulum E rectum & angulum F D E æqualem angulo quietis B A C, ut ſinus totus ad ſinum anguli quietis. Q. erat 1um.

Jam ut idem transferatur ad planum horizontale, debet vis D E, plano perpendicularis, conſiderari ut pondus abſolutum, & ità planum A B, ſe habebit ut planum horizontale reſpectu ponderis D E; vis autem F E, ſeu frictio conſideranda eſt tanquam vis in æquilibrio conſtituta cum vi æquali trahente pondus D E, ſecundùm directionem plano A B, parallelam; & ob triangulorum F D E, B A C, ſimilitudinem, manifeſtum eſt pondus D E, eſſe ad frictionem E F, ſeu pondus abſolutum in plano horizontali horizontaliter tractum, eſſe ad frictionem ejus, ut Radius ad tangentem anguli quietis. Q. erat 2um.

105. *Coroll.* In his duobus caſibus, frictiones, cæteris omnibus paribus, ſunt preſſionibus proportionales; nam frictio in plano inclinato dicatur f; in plano horizontali F, & erit per 1um. theor. $P : f = AB : BC$; & per 2um. theorema $P : F = AC ; BC$, ſeu $F : P = BC : AC$, adeóque per compoſitionem rationum $P.F : P.f = AB \times BC : BC \times AC$; ac proinde $F : f = AB : AC = FD : DE$; hoc eſt, frictio in plano horizontali

per æquales. Et quatenus actio propagatur per inſtrumentum, & ultimò imprimitur in corpus omne reſiſtens, ejus ultima determinatio determinationi reactionis ſemper erit contraria. AXIOMATA, SIVE LEGES MOTUS.

tali eſt ad frictionem in plano ad angulum quietis inclinato, ut preſſio in plano horizontali ad preſſionem in plano inclinato.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM
LIBER PRIMUS.

SECTIO I.

De methodo rationum primarum & ultimarum, cujus ope ſequentia demonſtrantur.

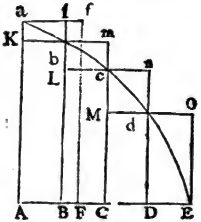
LEMMA I.

Quantitates, ut & quantitatum rationes, quæ ad æqualitatem tempore quovis finito conſtanter tendunt, & ante finem temporis illius propiùs ad invicem accedunt quàm pro datâ quavis differentiâ, fiunt ultimò æquales.

Si negas; fiant ultimò inæquales, & ſit earum ultima differentia *D*. Ergo nequeunt propiùs ad æqualitatem accedere quàm pro datâ differentiâ *D*: contra hypotheſin.

LEMMA II.

Si in figurâ quâvis A a c E, *rectis* A a, A E *& curvâ* a c E *comprehenſâ, inſcribantur parallelogramma quotcunque* A b, B c, C d, &c. *ſub baſibus* A B, B C, C D, &c. *æqualibus, & lateribus* B b, C c, D d, &c. *figuræ lateri* A a *parallelis contenta; & compleantur parallelogramma* a K b l, b L c m, c M d n, &c. *Dein horum parallelogrammorum latitudo minuatur, & numerus augeatur in infinitum: dico quod ultimæ rationes quas habent ad ſe invicem figura inſcripta* A K b L c M d D, *circumſcripta* A a l b m c n d o E, *& curvilinea* A a b c d E, *ſunt rationes æqualitatis.*



Nam

Nam figuræ inſcriptæ & circumſcriptæ differentia eſt ſumma parallelogrammorum *Kl*, *Lm*, *Mn*, *Do*, hoc eſt (ob æquales omnium baſes) rectangulum ſub unius baſi *Kb* & altitudinum (m) ſumma *Aa*, id eſt, rectangulum *ABla*. Sed hoc rectangulum, eo quod latitudo ejus *AB* in infinitum minuitur, fit minus quovis dato. Ergo (per *lemma* I) figura inſcripta & circumſcripta, & multo magis figura curvilinea intermedia, fiunt ultimò æquales. *Q. E. D.*

LEMMA III.

Eædem rationes ultimæ ſunt etiam rationes æqualitatis, ubi parallelogrammorum latitudines AB, BC, CD, &c. *ſunt inæquales, & omnes minuuntur in infinitum.*

Sit enim *AF* æqualis latitudini maximæ, & compleatur paralle-

(m) 106. Si fuerint quotcumque & cujuſvis generis quantitates decreſcentes, Aa, Bb, Cc, Dd, erunt omnium differentiæ ſimul ſumptæ æquales exceſſui maximæ ſuprà minimam. Nam perſpicuum eſt Aa — Bb + Bb — Cc + Cc — Dd = Aa — Dd: unde ſi ultima ſeriei quantitas ſit o, ut in ſerie Aa, Bb, Cc, Dd, o, ſumma differentiarum Ka + Lb + Mc + Dd, æqualis erit quantitati maximæ Aa.

107. Linea Bb, motu ſibi ſemper parallelo accedat ad lineam Aa, & interim punctum b, ita moveatur in linea Bb, ut ſemper reperiatur in arcu ba; decreſcente linearum Aa, Bb, diſtantiâ AB, decreſcit quoque earum differentia Ka, ac tandem evaneſcente AB, evaneſcit Ka, & Bb, ſeu AK, fit ultimò æqualis lineæ Aa; evaneſcunt autem AB & Ka, cum lineæ Aa, Bb, neque diſtantes, neque prorſus congruentes dici poſſunt, ſed ſimul, ut ita dicam, conjungi incipiunt. In illo ſtatu evaneſcentiæ, linearum Aa, Bb, differentia Ka, minor eſt quâvis lineâ datâ, ſeu infinitè parva eſt, aut inaſſignabilis reſpectu AK & Bb; quantitas autem evaneſcens, ſeu infinitè parva, eſt ad quantitatem finitam ut finitum ad infinitum; quare cum notum ſit infinitum ex finiti additione vel ſubtractione non mutari, aut tanquam immutatum haberi poſſe, liquet lineas Bb ſeu AK & Aa, ſeu AK + Ka, pro æqualibus poſſe uſurpari. Similiter, quia evaneſcente Ka, trianguli Kab, & parallelogrammi Kl, areæ infiniteſimæ ſunt reſpectu parallelogrammi evaneſcentis Ab, parallelogrammum iſtud Ab, uſurpari poteſt pro parallelogrammo Al, aut etiam pro figurâ ABba, hoc eſt, pro differentia arearum curvilinearum AEca, BEcb.

108. Ex his ſequitur diverſos eſſe infiniteſimorum ordines; nam oſtenſum eſt (107) parallelogrammum Kl, infiniteſimum eſſe reſpectu parallelogrammi Ab, hoc verò parallelogrammum infiniteſimum eſſe reſpectu areæ curvilineæ AEca.

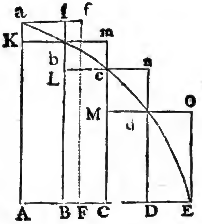
109. Figura AEca, circa axem ſuum AE, revolvatur, & quælibet ordinata Aa, Bb, deſcribet circulum, cujus eſt ordinata ipſa radius, quodlibet rectangulum evaneſcens ut KB, aB, deſcribet cylindrum evaneſcentem, & rectangula, Kl, Lm, Mn, Do, ſingula deſcribent annulos ſolidos, quorum ſumma æqualis erit

Digitized by Google

rallelogrammum $F A a f$. ([n]) Hoc erit majus quàm differentia figuræ inſcriptæ & figuræ circumſcriptæ; at latitudine ſuâ $A F$ in infinitum diminutâ, minus fiet dato quovis rectangulo. *Q. E. D.*

§1

Corol. 1. Hinc ſumma ultima parallelogrammorum evaneſcentium coincidit omni ex parte cum figurâ curvilineâ.



Corol. 2. Et multo magis figura rectilinea, quæ chordis evaneſcentium arcuum $a b$, $b c$, $c d$, &c. comprehenditur, coincidit ultimo cum figurâ curvilineâ.

Corol. 3. Ut & figura rectilinea circumſcripta quæ tangentibus eorumdem arcuum comprehenditur.

Corol. 4. ([o]) Et propterea hæ figuræ ultimæ (quoad perimetros $a c E$,) non ſunt rectilineæ, ſed rectilinearum limites curvilinei.

LEMMA IV.

Si in duabus figuris A a c E, P p r T, *inſcribantur (ut ſupra) duæ parallelogrammorum ſeries, ſitque idem amborum numerus, & ubi latitudines in infinitum diminuuntur, rationes ultimæ*

erit cylindro ex rotatione rectanguli A I deſcripto. Quare cum hic cylindrus ſit infiniteſimus, patet (*per lemma* 1.) ultimam rationem ſolidi ex cylindris omnibus compoſiti ad ſolidum ex rotatione figuræ curvilineæ A E c a, genitum eſſe rationem æqualitatis.

([n]) 110. Nam ſi ſingulorum parallelogrammorum latitudo æqualis eſſet lineæ A F, figuræ inſcriptæ & figuræ circumſcriptæ differentia foret parallelogrammum A f, (*lem.* 11.); cùm igitur ſingulorum parallelogrammorum latitudo minor ſit latitudine A F, (*ex hyp.*) prædicta figurarum differentia minor quoque eſt parallelogrammo A f.

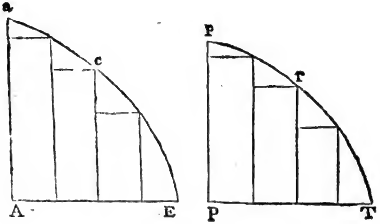
([o]) 111. Propterea hæ figuræ ultimæ (quoad perimetros a c E) non ſunt rectilineæ, ſeu non ſunt ex lateribus rectis quocumque numero finito compoſitæ, ſed ſunt figurarum rectilinearum quarum latera numero augentur & longitudine minuuntur in infinitum, limites curvilinei. Dum enim ordinatarum A a, B b, ac proinde chordarum a b, b c, numerus in infinitum augetur, & diſtantiæ A B, B C, in infinitum minuuntur, puncta a, b, K, l, & b, c, L, m, &c. coeunt & curvam a c E formant.

112. De-

Digitized by Google

timæ parallelogrammorum in unâ figurâ ad parallelogramma in alterâ, ſingulorum ad ſingula, ſint eædem; dico quod figuræ duæ AacE : PprT, *ſunt ad invicem in eâdem illâ ratione.*

§1.



Etenim ut ſunt parallelogramma ſingula ad ſingula; ita (componendo) fit ſumma omnium ad ſummam omnium, & ita figura ad figuram; exiſtente nimirum figurâ priore (*per lemma* III) ad ſummam priorem, & figurâ poſteriore ad ſummam poſteriorem in ratione æqualitatis. *Q. E. D.*

Corol. Hinc ſi duæ cujuſcunque generis quantitates in eundem partium numerum utcunque dividantur; & partes illæ, ubi numerus earum augetur & magnitudo diminuitur in infinitum, datam obtineant rationem ad invicem, prima ad primam, ſecunda ad ſecundam, cæteræque ſuo ordine ad cæteras: erunt tota ad invicem in eâdem illâ datâ ratione. Nam ſi in lemmatis hujus figuris ſumantur parallelogramma inter ſe ut partes, ſummæ partium ſemper erunt ut ſummæ parallelogrammorum; atque ideo, ubi partium & parallelogrammorum numerus augetur & magnitudo diminuitur in infinitum, in ultimâ ratione parallelogrammi ad parallelogrammum, id eſt (per hypotheſin) in ultimâ ratione partis ad partem.

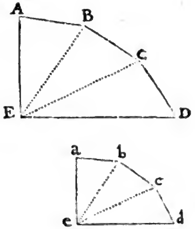
Digitized by Google

De Motu Corporum, Liber Primus.

LEMMA V.

Similium figurarum latera omnia, quæ ſibi mutuo reſpondent, ſunt proportionalia, tam curvilinea quam rectilinea; & areæ ſunt in duplicata ratione laterum. (p).

LEM-

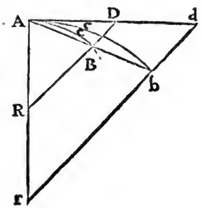


(p) 112. *Demonſtr.* .... Duæ figuræ, A D E, a d e, ſimiles dicuntur, quarum latera omnia ſibi mutuò reſpondentia, ut A B, a b, B C, b c, proportionalia ſunt, & angulos æquales, ut A B C, a b c, continent; undè jam patet ſummas laterum utriuſque figuræ eſſe inter ſe ut duo quævis latera correſpondentia A B, a b. Ductis ex E, & e, ad omnes angulos lineis E B, E C, e b, e c, figuræ in ſua triangula dividantur; & quoniam anguli D & d, æquales ſunt, lateraque E D, e d, D c, d c, proportionalia, (*per definit.*), duo triangula E C D, e c d, erunt ſimilia, adeóque anguli E C D, e c d, æquales, & latera E C, e c, lateribus C D, c d proportionalia; quare cum anguli B C D, b c d ſint etiam æquales (*per definit.*), æquantur quoque anguli, E C B, e c b, & quia B C : b c = C D : c d = E C : e c, triangula duo E B C, e b c ſimilia erunt. Idem eâdem ratione de aliis triangulis E B A, e b a demonſtratur. Verùm areæ ſingulorum triangulorum ſimilium, quæ in duabus figuris ſibi mutuò reſpondent, ſunt inter ſe in duplicatâ ratione laterum homologorum, ac proinde in datâ ratione; ergò ſummæ triangulorum, in utrâque figurâ, hoc eſt, figurarum areæ rationem habent laterum homologorum duplicatam. Jam numerus laterum A B, B C, &c. a b, b c, &c. augeatur, & eorum longitudo minuatur in infinitum, & (per *Cor.* 4. *Lem.* III.) figuræ A B C D, a b c d, fiunt curvilineæ; ſimilium igitur figurarum latera omnia, quæ ſibi mutuò reſpondent, ſunt proportionalia, tam curvilinea quam rectilinea, & areæ ſunt in duplicatâ ratione laterum. Q. E. D.

Digitized by Google

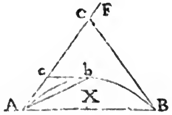
LEMMA VI.

Si arcus quilibet poſitione datus A C B *ſubtendatur chordâ* A B, *& in puncto aliquo* A, *in medio curvaturæ* (q) *continuæ, tangatur à rectâ utrinque productâ* A D; *dein puncta* A, B *ad invicem accedant & coëant; dico quod angulus* B A D, *ſub chordâ & tangente contentus, minuetur in infinitum & ultimò evaneſcet.*



Nam ſi angulus ille non evaneſcit, continebit arcus *ACB* cum tangente *AD* angulum rectilineo æqualem, & propterea curvatura ad punctum *A* non erit continua, contra hypotheſin.

LEM-



(q) 113. Curva continua B A, conſiderari poteſt tanquam deſcripta motu puncti B continuò mutantis directionem ſuam quâ per rectam tangentem B C, progredi nititur. Unde ſi arcus A B, ſit ubique verſus eamdem partem X, cavus, ſemperque ducantur tangentes A F, B C, ſeſe interſecantes in C, accedente puncto B, ad A, anguli B C F, B A C, C B A, quos tangentes & chordæ complectuntur, continuò, non verò per ſaltum, decreſcunt, & evaneſcente chordâ A b, evaneſcunt, atque nulli fiunt, dum punctum b, idem omninò eſt cum puncto A. Neceſſe igitur eſt ob continuitatem decrementorum, ut angulus C A b, per omnes magnitudinis gradus inter angulum C A B, & o, ſeu nihilum medios tranſeat priuſquam nullus omnino ſit; quod generatim ſtatuendum eſt de omnibus quantitatibus, quæ naſcuntur & continuò creſcunt, vel quæ continuò decreſcunt & tandem evaneſcunt; non poſſunt enim continuò creſcere vel decreſcere, nec ab uno extremo ad alterum pervenire, quin per omnes gradus magnitudinis inter duo extrema medios tranſeant. Itaque inter tangentem A F, & chordam infiniteſimam A b, nulla duci poteſt linea recta, quæ angulum finitum cum chordâ vel tangente efficiat; ideoque inter arcum A B, & tangentem A F, nulla duci poteſt linea recta quæ arcum non ſecet.

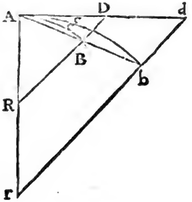
DE MOTU CORPORUM, LIBER PRIMUS.

§1.

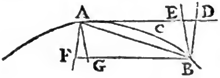
LEMMA VII.

Iiſdem poſitis; dico quod ultima ratio arcûs, chordæ, & tangentis ad invicem eſt ratio æqualitatis.

Nam dum punctum *B* ad punctum *A* accedit, intelligantur ſemper *A B* & *A D* ad puncta longinqua *b* ac *d* produci, & (r) ſecanti *B D* parallela agatur *b d*. Sitque arcus *A c b* ſemper ſimilis arcui *A C B*. Et punctis *A*, *B* coeuntibus, angulus *d A b*, per lemma ſuperius, evaneſcet; ideoqúe rectæ ſemper finitæ *A b*, *A d*, & arcus intermedius *A c b* coincident, & propterea æquales erunt. Unde & hiſce ſemper proportionales rectæ *A B*, *A D*, & arcus intermedius *A C B* evaneſcent, & rationem ultimam habebunt æqualitatis. *Q. E. D.*



Corol. 1. Undè ſi per *B* ducatur tangenti parallela *B F*, rectam quamvis *A F* per *A* tranſeuntem perpetuo ſecans in *F*, hæc *B F* ultimo ad arcum evaneſcentem *A C B* rationem habebit æqualitatis, eo quod completo parallelogrammo *A F B D* rationem ſemper habet æqualitatis ad *A D*.



Corol.

(r) 114. Secans R D, ſupponitur ſemper efficere cum tangente A D & chordâ A B, angulos finitos, aut angulos ad quos angulus evaneſcens B A D, rationem habet infiniteſimam; nam ſi anguli A B D, B A D, eſſent ejuſdem ordinis infiniteſimi, trianguli A B D latera finitam haberent inter ſe rationem. Angulus enim externus B D d, æqualis duobus internis oppoſitis D A B, D B A, eſſet ejuſdem ordinis cum illis angulis; & quoniam in omni triangulo latera ſunt ut ſinus angulorum oppoſitorum, latera A B, B D, A D, finitam rationem haberent ſinuum angulorum ejuſdem ordinis B D d, D A B, A B D; cùm autem anguli A & B, ſupponuntur infiniteſimi, angulus A D B eſt obtuſus, adeóque chorda A B, majori angulo oppoſita, ad tangentem A D, datam habebit majoris inæqualitatis rationem.

Digitized by Google

Corol. 2. Et ſi per *B* & *A* ducantur plures rectæ *B E*, *B D*, *A F*, *A G*, ſecantes tangentem *A D* & ipſius parallelam *B F*; ratio ultima abſciſſarum omnium *A D*, *A E*, *B F*, *B G*, chordæque & arcus *A B* ad invicem erit ratio æqualitatis.

Corol. 3. Et propterea hæ omnes lineæ, in omni de rationibus ultimis argumentatione, pro ſe invicem uſurpari poſſunt.

LEMMA VIII.

Si rectæ datæ AR, BR *cum arcu* ACB, *chordâ* AB *& tangente* AD, *triangula tria* RAB, RACB, RAD *conſtituunt, dein puncta* A, B *accedunt ad invicem: dico quod ultima forma triangulorum evaneſcentium eſt ſimilitudinis, & ultima ratio æqualitatis.*

Nam dum punctum *B* ad punctum *A* accedit, intelligantur ſemper *A B*, *A D*, *A R* ad puncta longinqua *b*, *d* & *r* produci, ipſique *R D* parallela agi *r b d*, & arcui *A C B* ſimilis ſemper ſit arcus *A c b*. Et coeuntibus punctis *A*, *B*, angulus *b A d* evaneſcet, & propterea triangula tria ſemper finita *r A b*, *r A c b*, *r A d* coincident, ſuntque eo nomine ſimilia & æqualia. Unde & hiſce ſemper ſimilia & proportionalia *R A B*, *R A C B*, *R A D* fient ultimo ſibi invicem ſimilia & æqualia. *Q. E. D.*

Corol. Et hinc triangula illa, in omni de rationibus ultimis argumentatione, pro ſe invicem uſurpari poſſunt.

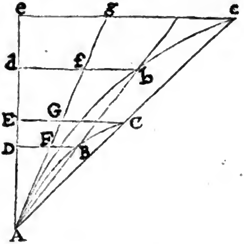
Digitized by Google

§1.

LEMMA IX.

Si recta A E *& curva* A B C *poſitione datæ ſe mutuo ſecent in angulo dato* A, *& ad rectam illam in alio dato angulo ordinatim applicentur* B D, C E, *curvæ occurrentes in* B, C, *dein puncta* B, C, *ſimul accedant ad punctum* A: *dico quod areæ triangulorum* A B D, A C E *erunt ultimo ad invicem in duplicatâ ratione laterum.*

Etenim dum puncta *B*, *C* accedunt ad punctum *A*, intelligatur ſemper *A D* produci ad puncta longinqua *d* & *e*, ut ſint *A d*, *A e* ipſis *A D*, *A E* proportionales, & erigantur ordinatæ *d b*, *e c* ordinatis *D B*, *E C* parallelæ quæ occurrant ipſis *A B*, *A C* productis in *b* & *c*. Duci intelligatur, tum curva *A b c* ipſi *A B C* ſimilis, tum recta *A g*, quæ tangat curvam utramque in *A*, & ſecet ordinatim applicatas *D B*, *E C*, *d b*, *e c* in *F*, *G*, *f*, *g*. (f) Tum manente longitudine *A e* coeant puncta *B*, *C* cum puncto *A*; & angulo *c A g* evaneſcente, coincident areæ curvilineæ *A b d*, *A c e* cum rectilineis *A f d*, *A g e*; ideoque (per lemma v.) erunt in duplicata ratione laterum *A d*, *A e*: Sed his areis proportionales ſemper ſunt areæ *A B D*, *A C E*, & his lateribus latera *A D*, *A E*. Ergo & areæ *A B D*, *A C E* ſunt ultimo in duplicatâ ratione laterum *A D*, *A E*. *Q. E. D.*



L E M-

(f) 115. Tum manente longitudine finitâ A e, & mutatâ, ſi neceſſum fuerit, longitudine A d, ut ſit ſemper A d : A e = A D : A E, coeant puncta B, C, cum puncto A, &c.

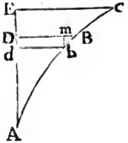
LEMMA X.

Spatia quæ corpus urgente quâcunque vi finitâ deſcribit, ſive vis illa determinata & immutabilis ſit, ſive eadem continuò augeatur vel continuò diminuatur, ſunt ipſo motûs initio in duplicatâ ratione temporum.

Exponantur tempora per lineas *AD*, *AE*, & velocitates genitæ per ordinatas *DB*, *EC*; (t) & ſpatia his velocitatibus deſcripta, erunt ut areæ *ABD*, *ACE* his ordinatis deſcriptæ, hoc eſt, ipſo motus initio (per lemma IX.) in duplicatâ ratione temporum *AD*, *AE*. *Q. E. D.*

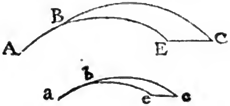
Corol. 1. (u) Et hinc facile colligitur, quod corporum ſimiles ſimilium figurarum partes temporibus proportionalibus deſcri-

(t) 116. Spatia his velocitatibus deſcripta erunt ut areæ ABD, ACE, his ordinatis deſcriptæ. Nam ductâ d b, ipſi D B, infinitè propinqua, ita ut D d, ſit infiniteſima ſeu evaneſcens reſpectu AD, AE, lineæ D B, d b, & rectangulum d m, ac figura D d b B, pro æqualibus reſpectivè uſurpari poſſunt (107),



adeò ut per tempuſculum infiniteſimum D d, velocitas D B, tanquam uniformis haberi poſſit; ſpatium autem æquabili velocitate d b, percurſum, eſt ut factum ex velocitate d b, & tempuſculo D d, (5), hoc eſt, ut rectangulum D d × d b, ſeu ut area D B b d; ſi igitur areæ A C E, A D B, in infinita numero atque infiniteſima rectangula, ut d m, diviſæ concipiantur, erunt ſummæ ſpatiorum percurſorum, ſeu ſpatia temporibus A E, A D, percurſa, ut ſummæ horum rectangulorum, hoc eſt, ut areæ ipſæ A C E, A B D, (*Lem. III.*)

117. *Cor.* Vis acceleratrix finita, utcumque variabilis, ipſo motûs initio conſiderari poteſt, tanquam vis determinata & immutabilis. Spatia enim, quæ corpus urgente vi acceleratrice conſtante deſcribit, ſunt ſemper in duplicatâ temporum ratione (27); & contra, ſi ſpatia percurſa duplicatam habeant temporum rationem, vis acceleratrix conſtans eſt; nam ſi mutabilis eſſet vis, illa quoque temporum & ſpatiorum proportio mutaretur. Ergò (*Lem. X.*) vis quælibet acceleratrix finita, utcumque variabilis, ipſo motûs initio tanquam immutabilis ſpectari poteſt.



(u) 118. Corpora duo A & a, curvas ſimiles A B E, a b e, illarumque partes ſimiles A B, a b, B E, b e, temporibus proportionalibus deſcribant; duobus hiſce corporibus, cum ad puncta B & b, pervenerint, accedunt novæ vires acceleratrices inter ſe æquales & ſimiliter applicatæ, quæ prioribus viribus additæ corpora deferant per arcus B C, b c. Jungan-

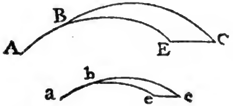
Digitized by Google

deſcribentium errores, qui viribus quibuſvis æqualibus ad corpora ſimiliter applicatis generantur, & menſurantur per diſtantias corporum à figurarum ſimilium locis illis, ad quæ corpora eadem temporibus iiſdem proportionalibus ſine viribus iſtis pervenirent, ſunt ut quadrata temporum in quibus generantur quam proximè.

Corol. 2. (x) Errores autem qui viribus proportionalibus ad ſimiles figurarum ſimilium partes ſimiliter applicatis generantur, ſunt ut vires & quadrata temporum conjunctim.

Corol. 3. (y) Idem intelligendum eſt de ſpatiis quibuſvis quæ corpora urgentibus diverſis viribus deſcribunt. Hæc ſunt, ipſo motus initio, ut vires & quadrata temporum conjunctim.

Corol. 4. Ideoque vires ſunt ut ſpatia, ipſo motus initio, deſcripta directè & quadrata temporum inversè. *Corol.*



gantur rectæ EC ; ec, quæ errores ſolà virium perturbantium actione genitos exponent ; Lineæ enim illæ ſunt ſpatia ſolà virium perturbantium actione deſcripta. Cum autem vires perturbantes ſupponantur æquales & ſimiliter applicatæ, idem contingere debet ac ſi corpus aliquod eàdem vi acceleratrice ſollicitatum ſpatia E C, e c, diverſis temporibus deſcriberet, adeoque ſpatia illa ſunt, ipſo motus initio, ut quadrata temporum quibus percurruntur (*Lem. X.*) BC, bc, & quibus abſque virium perturbantium actione percurrerentur arcus ſimiles B E, be; ſi igitur vires illæ perturbantes ſupponantur conſtantes, ſpatia EC, ec, non ſolùm motûs initio, ſed & tempore finito deſcripta, erunt ut prædictorum temporum quadrata (27). Undè ſi admodum exigua ſit virium perturbantium variatio, ſpatia ſeu errores erunt quam proximè ut quadrata temporum.

(x) 119. Errores autem, qui viribus proportionalibus, ſeu viribus in datâ ratione exiſtentibus, ad ſimiles figurarum ſimilium partes ſimiliter applicatis generantur, ſunt ut vires & quadrata temporum conjunctim. Nam ſi tempora ſunt eadem, errores ſunt in datâ ratione virium; ſi vires ſunt eædem, errores ſunt in duplicata ratione temporum quibus generantur; cùm igitur vires & tempora variant, errores ſunt in ratione compoſitâ ex datâ virium ratione & duplicatâ temporum.

(y) 120. Nam vires motûs initio tanquam conſtantes haberi poſſunt (117); dupla autem ſpatia, adeóque ſimplicia ſpatia, quæ corpora urgentibus viribus conſtantibus deſcribunt, ſunt ut vires & quadrata temporum conjunctim (30); ergo ſpatia quæ corpora urgentibus diverſis viribus deſcribunt, ſunt, ipſo motûs initio, ut vires & quadrata temporum conjunctim. Si itaque vires acceleratrices, motus initio, ſint G, g, ſpatia S, s, tempora T, t, erit $S : s = GTT : gtt$, ideoque $G : g = \frac{SS}{TT:tt}$ & $TT : tt = S : G : s : g$, hoc eſt, vires ſunt ut ſpatia motus initio deſcripta directè & quadrata temporum inversè; Temporum verò quadrata, ſunt ut deſcripta ſpatia directè, & vires inversè.

121. Cir-

Corol. 5. Et quadrata temporum ſunt ut deſcripta ſpatia directè & vires inversè.

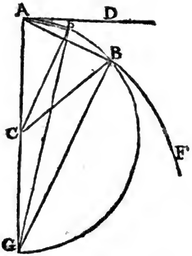
§ 1.

Scholium.

Si quantitates indeterminatæ diverſorum generum conferantur inter ſe, & earum aliqua dicatur eſſe ut eſt alia quævis directè vel inversè: ſenſus eſt, quòd prior augetur vel diminuitur in eâdem ratione cum poſteriore, vel cum ejus reciprocâ. Et ſi earum aliqua dicatur eſſe ut ſunt aliæ duæ vel plures directè aut inversè: ſenſus eſt, quod prima augetur vel diminuitur in ratione quæ componitur ex rationibus in quibus aliæ vel aliarum reciprocæ augentur vel diminuuntur. Ut ſi A dicatur eſſe ut B directè & C directè & D inversè: ſenſus eſt, quod A augetur vel diminuitur in eadem ratione cum $B \times C \times \frac{1}{D}$ hoc eſt, quod A & $\frac{BC}{D}$ ſunt ad invicem in ratione datâ.

LEMMA XI.

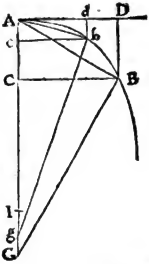
Subtenſa evaneſcens anguli contactus, in curvis omnibus (z) *curvaturam finitam ad punctum contactus habentibus, eſt ultimo in ratione duplicatâ ſubtenſæ arcus contermini.* *Caſ.*



(z) 121. Circuli curvatura eſt in omnibus circumferentiæ punctis eadem, ſeu uniformis; in variis autem circulis eo major eſt, quo minor eſt circuli radius, adeò ut circuli curvatura ſit ſemper in ratione inversâ radii. Aliarum linearum curvatura in ſingulis punctis determinatur per curvaturam arcus circularis qui cum arcu infiniteſimo curvæ in puncto dato congruit, ſeu, quod idem eſt, qui curvam in puncto dato oſculatur. Eſt igitur lineæ cujuſvis in puncto dato curvatura inversè ut radius circuli curvam lineam in dato puncto oſculantis.

Sumantur duo curvæ A F, puncta A & B, ducanturque rectæ A C, B C, ad curvam perpendiculares, & ex puncto interſectionis C, tanquam centro, radiis C A, C B, duo deſcribantur circuli, quorum unus radio C A, deſcriptus tanget curvam in A, alter autem radio C B, deſcriptus tanget eam in B. Si ad ſe mutuò accedant puncta A & B, donec arcus A B evaneſcat, duæ perpendiculares A C, B C, pro æqualibus uſurpari poterunt (*Lem.* I),

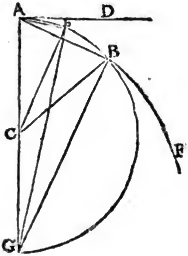
Caſ. 1. Sit arcus ille *A B*, tangens ejus *A D*, ſubtenſa anguli contactus ad tangentem perpendicularis *B D*, ſubtenſa arcus *A B*. Huic ſubtenſæ *A B* & tangenti *A D* perpendiculares erigantur *A G*, *B G*, concurrentes in *G*; dein accedant puncta *D*, *B*, *G*, ad puncta *d*, *b*, *g*, ſitque *J* interſectio linearum *B G*, *A G* ultimo facta ([a]) ubi puncta *D*, *B* accedunt uſque ad *A*. Manifeſtum eſt quod diſtantia *G J* minor eſſe poteſt quam aſſignata quævis. Eſt autem (ex natura circulorum per puncta *A B G*, *A b g* tranſeuntium) *A B quad.* æquale *A G* × *B D*, & *A b quad.* æquale *A g* × *b d*; ideoque ratio *A B quad.* ad *A b quad.* componitur ex rationibus *A G* ad *A g* & *B D* ad *b d*. Sed quoniam *G J* aſſumi poteſt minor longitudine quàvis aſſignatâ, fieri poteſt ut ratio *A G* ad *A g* minùs differat à ratione æqualitatis quam pro differentiâ



quàvis

conjungentur duo puncta contactus A & B, duoque circuli tangentes abibunt in unum A B G, qui curvam oſculabitur in A, vel B, adeoque curvatura lineæ A F, in A, eſt in ratione inversâ radii A C circuli oſculantis. Si ergo finitus ſit radius oſculi A C, finita quoque erit curvatura in A; ſi vero radius ſit infinitus, curvatura erit infiniteſima; ac tandem ſi radius ſit infiniteſimus, curvatura erit infinita. Quoniam autem eo magis curva à tangente A D deflectit, quo circuli oſculantis radius A C minor eſt, & contra, patet angulum contactûs creſcere & decreſcere cum curvaturâ & in eâdem ratione inversâ radii.

122. Ducantur chordæ A B, B G; angulus A B G, in ſemicirculo rectus eſt; ac proindè ſi in curvâ quâcumque curvaturam finitam in puncto aliquo A habente ducantur chordæ evaneſcentes A b, A B, ad eaſque agantur perpendiculares B G, b G, hæ lineæ convenient in puncto G, junctiſque punctis A & G, recta A G ad tangentem A d perpendicularis erit, & finitam habebit magnitudinem; ut pote quæ æqualis eſt duplo radio finito A C, circuli curvam oſculantis in A.



([a]) 123. Ubi puncta D, B, accedunt uſque ad A, linea A J (122) eſt diameter circuli curvam A b B oſculantis in

quâvis aſſignatâ, ideoque ut ratio *A B quad.* ad *A b quad.* minùs differat à ratione *B D* ad *b d*, quàm pro differentiâ quâvis aſſignatâ. Eſt ergo, per lemma 1, ratio ultima *A B quad.* ad *A b quad.* eadem cum ratione ultimâ *B D* ad *b d*. *Q. E. D.*

§ 1.

Caſ. 2. (b) Inclinetur jam *B D* ad *A D* in angulo quovis dato, & eadem ſemper erit ratio ultima *B D* ad *b d*, quæ priùs, ideoque eadem ac *A B quad.* ad *A b quad.* *Q. E. D.*

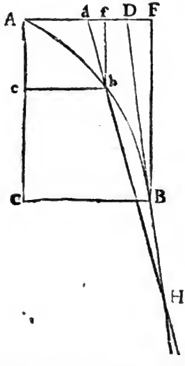
Caſ. 3. (c) Et quamvis angulus *D* non detur, ſed rectâ *B D* ad datum punctum convergat, vel aliâ quâcunque lege conſtituatur; tamen anguli *D*, *d* communi lege conſtituti ad æqualitatem ſemper vergent & propiùs accedent ad invicem quàm pro differentiâ quâvis aſſignatâ, ideoque ultimo æquales erunt, per lem. 1, & propterea lineæ *B D*, *b d* ſunt in eâdem ratione ad invicem ac priùs. *Q. E. D.*

Co-

in A, & quoniam accedente puncto B, ad A, accedit punctum G, ad J, atque evaneſcente arcu A B, evaneſcit quoque diſtantia G J, manifeſtum eſt quod diſtantia G J minor eſſe poteſt quam aſſignata quævis; quia verò anguli A b g, A B G, recti ſunt (per hyp.) circuli duo diametris A g, A G, deſcripti per puncta b, B, tranſeunt, adeóque horum circulorum chordæ A b, A B, ſunt mediæ proportionales inter ſuas reſpectivè abſciſſas A c, A C, ſeu æquales d b, D B, & diametros A g, A G, ac proindè $AB^2 = AG \times BD$ & $Ab^2 = Ag \times bd$ &c.

(b) 124. Inclinentur jam B D, b d, ad A D, in angulo quovis dato B D F, b d f, eadem ſemper erit ratio ultima B D, ad, b d, quæ priùs. Ductis enim B F, b f, ad A C, parallelis, erit ob triangula æquiangula B F D, b f d, $BD : bd = BF : bf$; ſed (123) $BF : bf = AB^2 : Ab^2$; eſt igitur $BD : bd = AB^2 : Ab^2$.

(c) 125. Et quamvis angulus D, non detur, ſed rectæ, D B, d b, ad datum punctum H, convergant, vel aliâ quâcumque communi lege conſtituantur, tamen anguli D, d, communi lege conſtituti (punctis b & B ad A & ad ſe mutuò accedentibus) ad æqualitatem ſemper vergent, & evaneſcente arcu B b, adeóque coincidentibus lineis H D, H d, propiùs accedent



ad invicem quam pro differentiâ quâvis aſſignatâ, ac proinde ultimò æquales erunt (per *Lem.* I.), & propterea lineæ B D, b d, ſunt ultimò parallelæ & in eâdem ratione ad invicem ac priùs (124.)

Digitized by Google

De Motu Corporum, Liber Primus.

Corol. 1. Unde cum tangentes *AD*, *Ad*, arcus *AB*, *Ab*; & eorum ſinus *BC*, *bc* fiant ultimo chordis *AB*, *Ab* æquales; erunt etiam illorum quadrata ultimo ut ſubtenſæ *BD*, *bd*.

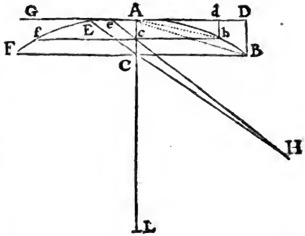
§ I.

Corol. 2. ([d]) Eorundem quadrata ſunt etiam ultimo ut ſunt arcuum ſagittæ, quæ chordas biſecant & ad datum punctum convergunt. Nam ſagittæ illæ ſuut ut ſubtenſæ *BD*, *bd*.

Corol. 3. ([e]) Ideoque ſagitta eſt in duplicatâ ratione temporis quo corpus datâ velocitate deſcribit arcum.

Corol. 4. ([f]) Triangula rectilinea *ADB*, *Adb* ſunt ultimo in triplicatâ ratione laterum *AD*, *Ad*, inque ſeſquiplicatâ

catâ



([d]) 126. Sit F A B, arcus circuli curvam datam oſculantis in A, tangens A D, radius oſculi A L, chordæ F B, f b, ad radium A L, & rectæ B D, b d, ad tangentem A D, normales, per puncta C c, ſemper ducantur lineæ E C, e c, ad datum punctum H, convergentes, evaneſcente arcu A B, rectæ D B, d b, & ipſis æquales ſagittæ A C, A c, ſunt ut tangentium A D, A d, arcuum A B, A b, & chordarum A B, A b, quadrata (*Corol.* 1.) adeóque ut duplorum arcuum F A B, f A b, & chordarum f b, F B, iis arcubus evaneſcentibus (*Lem.* 7.) congruentium, atque etiam tangentium quadrata. Jam ubi punctum C, uſque ad A, accedit, chorda evaneſcens A E, cum tangente A G, coincidit (*Lem.* 6.) & coeuntibus quoque lineis E H, e H, triangula C E A, c e A, fiunt ſimilia, ac proindè E C eſt ad e c, ut A C, ad A c, hoc eſt ut arcuum evaneſcentium F A B, f A b, chordarum F B, f b, & tangentium quadrata.

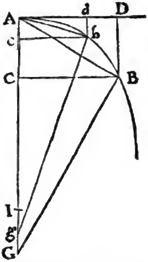
([e]) 117. Ideòque ſagittæ A C, A c, vel E C, e c, ſunt in duplicatâ ratione temporum quibus corpus datâ velocitate percurrit arcus evaneſcentes F A B, f A b, vel dimidios A b, A b; ſpatia enim datâ velocitate percurſa ſunt ut tempora (5), adeóque pro temporibus ſubſtitui poſſunt arcus F A B, f A b, ſed ſagittæ ſunt in ratione duplicatâ eorum arcuum, (126), ergò & temporum.

([f]) 128. Triangula rectilinea A B D, A b d, ſunt ultimò in triplicatâ ratione laterum A D, A d, inque ſeſquiplicatâ laterum B D, b d; ductis enim B F, b f, ad tangentem A B, perpendicularibus, erit ob triangulorum B D F, b d f, ſimilitudinem $BD : bd = BF : bf$, & propterea areæ triangulorum A B D, A b d, ſunt in ratione compoſitâ laterum A D, ad A d, & B D, ad b d; ſed (124, 125. cor. 1.) $BD : bd = AD^2 : Ad^2$, adeòque $\sqrt{BD} : \sqrt{bd} = AD : Ad$, ergò triangula A B D, A b d, ſunt in ratione compoſitâ A D, ad A d, & AD^2, ad Ad^2, hoc eſt, in ratione triplicatâ laterum A D, A d; ſunt etiam in ratione compoſitâ B D, ad b d, & $\sqrt{BD}$, ad $\sqrt{bd}$, hoc eſt, in ratione $BD \times \sqrt{BD}$ ad $bd \times \sqrt{bd}$.

129.

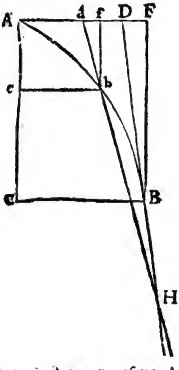
Digitized by Google

catâ laterum DB, db; utpote in compoſitâ ratione laterum AD & DB, Ad & db exiſtentia. Sic & triangula ABC, Abc ſunt ultimo in triplicatâ ratione laterum BC, bc. Rationem verò ſeſquiplicatam voco triplicatæ ſubduplicatam, quæ nempè ex ſimplici & ſubduplicatâ componitur.



Coroll. 5. Et quoniam DB, db ſunt ultimo parallelæ & in duplicatâ ratione ipſarum AD, Ad: erunt areæ ultimæ curvilineæ ADB, Adb ([g] ex naturâ parabolæ) (h) duæ tertiæ partes triangulorum rectilineorum ADB, Adb; & ſegmenta AB, Ab partes tertiæ eorundem triangulorum. Et inde hæ areæ & hæc ſegmenta erunt in triplicatâ ratione tum tangentium AD, Ad; tum chordarum & arcuum AB, Ab.

Scho-



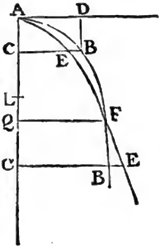
(g) 129. Arcus evaneſcens A B, in curvis omnibus curvaturam finitam ad punctum contactûs A, habentibus, pro arcu parabolæ uſurpari poteſt. Ductâ enim A C, lineis B F, b f, parallelâ, completiſque parallelogrammis A B, A b, erunt, ex demonſtratis, rectæ F B, f b, & ipſis æquales abſciſſæ A C, A c, ut ordinatum C B, c b, quadrata, quæ eſt notiſſima parabolæ proprietas.

130. Quare arcus evaneſcens ſpectari poteſt tanquam arcus parabolæ cujus latus rectum eſt æquale diametro circuli oſculantis. Nam in arcu circulari A B, (vid. fig. textûs) ordinata C B, ad diametrum perpendicularis, eſt media proportionalis inter abſciſſam A C, & reliquam diametri partem, ſeu totam diametrum, cum A C, evaneſcit (*Lem.* 1.), adeóque quadratum ordinatæ C B, æquale eſt rectangulo ex abſciſsâ evaneſcente A C, & diametro circuli, quæ eſt proprietas parabolæ cujus latus rectum æquale eſt prædictæ diametro.

(h) 131. Parabolæ ſegmentum A b B, eſt tertia pars trianguli rectilinei A C B, vel æqualis A D B; adeóque area curvilinea A D B b A, æqualis eſt duabus tertiis partibus ejuſdem trianguli rectilinei A D B. Vid. *Gregor. à S. Vincentio* cor. 1. Prop. 232. Lib. V. Quadraturæ circuli, aut *Archimed.* Prop. 17. Quadrat. Parabolæ.

Scholium.

Cæterum in his omnibus ſupponimus angulum contactus nec infinitè majorem eſſe angulis contactuum, quos circuli continent cum tangentibus ſuis, nec iiſdem infinitè minorem; hoc eſt, curvaturam ad punctum *A*, nec infinitè parvam eſſe, nec infinitè magnam, ſeu intervallum *AJ* finitæ eſſe magnitudinis. (i) Capi enim poteſt *DB* ut *AD*^{3}: quo in caſu circulus



(i) 132. Sit parabolæ Appollonianæ A E F, axis A C, vertex A, tangens in vertice A D, ordinata C E, latus rectum A L, circulus diametro A L, deſcriptus parabolam oſculatur in A, (130.) eundemque ac parabola contactûs angulum efficit in A. Ad eundem axem A C, & verticem A, deſcribatur ſuperioris generis parabola cujus ordinatæ C B ſint ſemper in ſubtriplicatâ abſciſſarum A C, vel parallelarum & æqualium D B, ratione; & erit angulus contactûs B A D, angulo contactûs E A D, infinitè minor...... *Dem*... Parabolæ A F E, latus rectum A L, dicatur *A*; parabolæ A B B, latus rectum ſit *B*, & erit ex harum curvarum naturâ $A \times AC = CE^2$ & $B^2 \times AC = CB^3$, adeóque $AC = CE^2 : A = CB^3 : B^2$, undè reperitur $CB^3 = CE^2 \times B^2 : A$, & CB ad $B^2 : A = CE^2$ ad CB^2 ergo cum erit $CB = B^2 : A$, tunc erit $CE^2 = CB^2$, atque adeò parabolæ A E E, A B B, ordinatam habebunt communem quæ dicatur Q F, & ſeſe interſecabunt in puncto F; jam verò ſi fuerit C B minor quam $B^2 : A$, erit quoque CE^2 minor quàm CB^2, adeóque C E minor quàm C B; ſed omnes ordinatæ inter verticem A, & ordinatam communem Q F, (quæ eſt $= B^2 : A$) minores ſunt eâ, ergo omnes C E inter A & F comprehenſæ ſunt minores ordinatis correſpondentibus C B, tota igitur parabolæ Appollonianæ portio A E F, quâ ordinatæ C E terminantur, cadit intrà portionem A B F, alterius parabolæ, ac proindè angulus contactûs B A D, ſemper minor eſt angulo contactûs E A D, cum ergò angulus E A D, aucto in infinitum latere recto A L, poſſit ſine fine minui, manifeſtum eſt angulum contactûs B A D, quovis angulo dato E A D, infinitè minorem eſſe. Q. e. D.

133. Ad eundem axem A C, & verticem A, ſucceſſivè deſcribantur curvæ A E E; ejus naturæ, ut abſciſſarum A C, & ordinatarum C E, relatio exprimatur æquatione generali $A^m\,AC = CE^{m+1}$. Si loco exponentis, m, ſucceſſivè ponantur in æquatione numeri quilibet poſitivi, integri vel fracti continuò creſcentes vel decreſcentes, obtinebuntur infinitæ ſeries diverſæ angulorum contactuum, quorum quilibet eſt infinitè minor priore, dum numerus, m, ſemper creſcit, & infinitè major dum numerus, m, ſemper decreſcit... *Dem*... Numerus, m, augeatur numero poſitivo, n, integro vel fracto, & deſcribatur curva A B B, cujus æquatio ſit $B^{m+n} \times AC = CB^{m+n+1}$. Ex hac æquatione & ſuperiori $A^m\,AC = CE^{m+1}$, reperitur $AC = CB^{m+n+1} : B^{m+n} = CE^{m+1} : A^m$, adeóque $CB^{m+n+1} = CE^{m+1} \times B^{m+n} : A^m$ atque CB^n ad $B^{m+n} : A^m = CE^{m+1}$ ad CB^{m+1}; ſit $CB^n = B^{m+n}.\,A^m$, & erit $CB^{m+1} = CE^{m+1}$, adeóque $CB = CE = QF$. Quare cum inter verticem A, & communem ordinatam Q F, omnes ordinatæ ſint minores ipsâ Q F, patet ut ſuprà (132), totam portionem A E F, curvæ A E E, cadere intrà portionem A B F, alterius curvæ A B B, ac proindè angulum contactûs B A D, quovis dato angulo contactûs E A D infinitè minorem eſſe, & reciprocè angulum E A D, eſſe angulo B A D infinitè majorem. Q. e. D.

Digitized by Google

nullus per punctum A inter tangentem $A D$ & curvam $A B$ duci poteſt, proindeque angulus contactus erit infinitè minor circularibus. (k) Et ſimili argumento ſi fiat $D B$ ſucceſſivè ut $A D^4$, $A D^5$, $A D^6$, $A D^7$, &c. habebitur ſeries angulorum contactus pergens in infinitum, quorum quilibet poſterior eſt infinitè minor priore. Et ſi fiat $D B$ ſucceſſivè ut $A D^2$, $A D^{\frac{3}{2}}$, $A D^{\frac{4}{3}}$, $A D^{\frac{5}{4}}$, $A D^{\frac{6}{5}}$, $A D^{\frac{7}{6}}$, &c. habebitur alia ſeries infinita angulorum contactus, quorum primus eſt ejuſdem generis cum circularibus, ſecundus infinitè major, & quilibet poſterior infinitè major priore. Sed & inter duos quoſvis ex his angulis poteſt ſeries utrinque in infinitum pergens angulorum intermediorum inſeri, quorum quilibet poſterior erit infinitè major minorve priore. Ut ſi inter terminos $A D^2$, & $A D^3$, inſeratur ſeries $A D^{\frac{13}{6}}$, $A D^{\frac{11}{5}}$, $A D^{\frac{9}{4}}$, $A D^{\frac{7}{3}}$, $A D^{\frac{5}{2}}$, $A D^{\frac{8}{3}}$, $A D^{\frac{11}{4}}$, $A D^{\frac{14}{5}}$, $A D^{\frac{17}{6}}$, &c. Et rurſus inter binos quoſvis angulos hujus ſeriei inſeri poteſt ſeries nova angulorum intermediorum ab invicem infinitis intervallis differentium. Neque novit natura limitem.

(l) Quæ de curvis lineis deque ſuperficiebus comprehenſis demonſtrata ſunt, facilè applicantur ad ſolidorum ſuperficies cur-

De Motu Corporum. Liber Primus.

(k) 134. In æquatione $A^m \times AC = CE^{m+1}$, loco exponentis m, ſucceſſivè ponantur numeri 1, 2, 3, 4, 5 &c., & erit A C ſucceſſivè, ut CE^2, CE^3, CE^4, CE^5 &c., & habebitur (133) ſeries angulorum contactûs pergens in infinitum, quorum quilibet poſterior eſt infinitè minor priore. Loco m ſubſtituantur ſucceſſivè numeri decreſcentes, 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, &c. erit A C, ſucceſſivè ut CE^2, $CE^{\frac{3}{2}}$, $CE^{\frac{4}{3}}$, $CE^{\frac{5}{4}}$, &c., & habebitur alia ſeries infinita angulorum contactûs, quorum primus eſt ejuſdem generis cum circularibus (132), ſecundus infinitè major, & quilibet poſterior infinitè major priore (133). Loco m, ſubſtituantur numeri 1, $1+\frac{1}{6}$, $1+\frac{1}{5}$, $1+\frac{1}{4}$, $1+\frac{1}{3}$, $1+\frac{1}{2}$, $1+\frac{2}{3}$, $1+\frac{3}{4}$, $1+\frac{4}{5}$, $1+\frac{5}{6}$ &c., erit A C, ſucceſſivè ut CE^2, $CE^{\frac{13}{6}}$, $CE^{\frac{11}{5}}$, $CE^{\frac{9}{4}}$ &c., & habebitur ſeries infinita angulorum contactûs, quorum quilibet poſterior eſt infinitè minor priore (133), & inter binos quoſvis angulos hujus alteriuſve ſeriei inſeri poteſt ſeries nova angulorum intermediorum ab invicem infinitis intervallis differentium; ut enim ea ſeries inveniatur, ſufficit inter duos numeros datos, v. G. 1, $1+\frac{1}{6}$, ſeriem invenire numerorum creſcentium vel decreſcentium, quorum quilibet major ſit altero ex numeris datis, minor altero, quod facillimum eſt.

(l) 135. Id exemplo facili illuſtrare ſatis erit. Pyramidis & coni ſit idem vertex eademque altitudo, & baſis pyramidis ſit polygonum inſcriptum circulo qui baſis eſt coni, numerus laterum polygoni augeatur, & eorum longitudo minuatur in infi-

curvas & contenta. (m) Præmiſi verò hæc lemmata, ut effugerem tædium deducendi longas demonſtrationes, more veterum geometrarum, ad abſurdum. Contractiores enim redduntur demonſtrationes per methodum indiviſibilium. Sed quoniam durior eſt indiviſibilium hypotheſis, & propterea methodus illa minus geometrica cenſetur; (n) malui demonſtra-

infinitum, & polygoni ac circuli ultima ratio (*Lem.* 7.) erit ratio æqualitatis, ac proindè ultima ratio pyramidis illiuſque ſuperficiei ad conum & illius ſuperficiem curvam, erit quoque ratio æqualitatis; undè curva ſuperficies coni æqualis eſt ſummæ ultimæ triangulorum evaneſcentium, quorum communis vertex eſt vertex coni, baſes verò latera evaneſcentia polygoni circulo inſcripti.

(m) 136. Quàm magnos progreſſus Geometria fecerit, hinc cognoſcere licet. Veteres Geometræ in iis quæſtionibus quæ *Infiniti* conſiderationem involvunt, ſuas demonſtrationes ad abſurdum revocabant, & ex falſis ſuppoſitionibus verum eruebant. Ut inter duas quantitates quæ ad æqualitatem conſtanter vergunt, & tandem propiùs ad invicem accedunt quàm pro datâ quâvis differentiâ rationem æqualitatis intercedere demonſtrarent, priùs ſupponebant inter eas quantitates eſſe vel majoris vel minoris inæqualitatis rationem, deindè utrumque falſum demonſtrabant, & ex hâc reductione quam ad abſurdum vocant, inter illas quantitates perfectam æqualitatem eſſe concludebant. Quàm autem perplexus ſit & tædioſus hic demonſtrandi modus, nemo non videt. Verùm licèt imperfecta admodùm fuerit veterum geometria, non iis tamen omninò ignota fuerunt methodi infiniteſimalis principia. Quantitates infinitè parvas ſeu evaneſcentes pro nihilo habendas eſſe in multis demonſtrationibus tanquam axioma poſuerunt *Euclides* & *Archimedes*; in exemplum afferemus unicum vulgaris Geometriæ theorema. Ut demonſtrarent circulos eſſe inter ſe ut quadrata diametrorum, fingebant iis circulis inſcripta eſſe vel circumſcripta polygona ſimilia quorum latera numero augerentur & longitudine minuerentur in infinitum, ità ut polygonorum inſcriptorum vel circumſcriptorum à circulo differentia foret quâvis datâ magnitudine minor; quia verò hæc polygona ſunt ut quadrata diametrorum circulorum quibus inſcribuntur vel circumſcribuntur, circulos pariter eſſe ut quadrata diametrorum concludebant. Varios infinitorum ordines ſupponit illud idem theorema, licèt non adverterent veteres. Nam conſiderabant polygona circulis inſcripta tanquam compoſita ex infinitis numero atque infinitè parvis ſeu evaneſcentibus lateribus; manifeſtum autem eſt differentiam polygoni inſcripti à circulo quâvis datâ minorem componi ex infinitis numero atque infinitè parvis ſeu evaneſcentibus circuli ſegmentis quorum latera polygoni ſunt chordæ; hæc verò ſegmenta ſunt minimæ quantitates illæ quas ſecundi ordinis infiniteſimas dicunt Recentiores. Hic pedem fixerant veteres, primuſque longiùs progredi auſus eſt celeberrimus Geometra *Bonaventura Cavalerius* qui anno 1635. indiviſibilium methodum in geometriam introduxit. Hoc primum poſuit ſuæ methodi decretum, lineas nempè ex infinitis punctis conſtare, ſuperficies ex infinitis lineis, & ſolida ex infinitis ſuperficiebus; Deinde indiviſibilia illa elementa, totamque eorum ſummam comparat in unâ magnitudine cum ſingulis elementis eorumque ſummâ in aliâ magnitudine, & ſic duarum magnitudinum rationem determinat. Hæc autem quantitatum indiviſibilium hypotheſis durior minuſque geometrica NEWTONO viſa eſt.

(n) 137. NEWTONUS, ut indirectas & perplexas vitaret veterum demonſtrationes, earum tamen certitudinem & evidentiam conſervaret, veterum principium Lemmate primo generaliter expreſſit, illudque in Lemmatis ſequentibus ad curvas generatim applicavit, & indè directas perbreveſque

Digitized by Google

ſtrationes rerum ſequentium ad ultimas quantitatum evaneſcentium ſummas & rationes, primaſque naſcentium, id eſt, ad limites (o) ſummarum & rationum deducere; & propterea limitum illorum demonſtrationes quâ potui brevitate præmittere. His enim idem præſtatur quod per methodum indiviſibilium; & principiis demonſtratis jam tutiùs utemur. Proinde in ſequentibus, ſi quando quantitates tanquam ex particulis conſtantes conſideravero, vel ſi pro rectis uſurpavero lineolas curvas; nolim indiviſibilia, ſed evaneſcentia diviſibilia, non ſummas & rationes partium (p) determinatarum, ſed ſummarum & rationum limites ſemper intelligi; vimque talium demonſtrationum ad methodum præcedentium lemmatum ſemper revocari.

Objectio eſt, quod quantitatum evaneſcentium nulla ſit ultima proportio; quippe quæ, antequam evanuerunt, non eſt ultima; ubi evanuerunt, nulla eſt. Sed & eodem argumento æque contendi poſſet nullam eſſe corporis ad certum locum, ubi motus finiatur, pervenientis (q) velocitatem ultimam: hanc enim, antequam corpus attingit locum, non eſſe ultimam; ubi attingit, nullam eſſe. Et reſponſio facilis eſt: Per velo-

veſque demonſtrationes in toto operis decurſu deduxit. Ut autem methodi indiviſibilium brevitatem aſſequeretur, tutius tamen & accuratius procederet, loco indiviſibilium evaneſcentia diviſibilia ſubſtituit, & quantitates Mathematicas non ut ex partibus quam minimis conſtantes, ſed ut motu continuo deſcriptas conſiderat; ſupponit nimirum lineas deſcribi ac deſcribendo generari non per appoſitionem partium, ſed per motum continuum punctorum, ſuperficies per motum linearum, & ſolida per motum ſuperficierum, angulos per rotationem laterum, tempora per fluxum continuum, & ſic in cæteris.

(o) 138. Ubi area curvilinea in parallelogramma rectilinea dividitur, & eorum numerus augetur atque latitudo minuitur in infinitum, horum parallelogrammorum ſumma (*Lem.* 2.), nunquam poteſt eſſe major areâ curvilineâ, ſed hæc area eſt terminus ad quem parallelogrammorum decreſcentium ſumma ſemper accedit & quem tandem attingit, ubi parallelogramma evaneſcunt aut naſcuntur. Idem dicendum de evaneſcentibus curvarum chordis reſpectu perimetri curvilineæ.

(p) 139. Quantitates evaneſcentes concipi non debent velut determinatæ aut determinabiles quædam portiones quantitatum quæ certam & definitam parvitatem obtineant. Qualcumque enim portiunculas linearum, ſuperficierum aut corporum acceperimus aut deſignaverimus, hæ ſemper reipsâ finitæ erunt, non evaneſcentes; itaque non ſunt intrà certos terminos quantumvis proximos coarctandæ, undè hæ quantitates ſemper ut decreſcentes ac perpetuò diminuendæ accipi debent.

(q) 140. Exempli causâ, gravis ſursùm projecti & ad altiſſimum locum pervenientis;

velocitatem ultimam intelligi eam, quâ corpus movetur, neque antequam attingit locum ultimum & motus ceſſat, neque poſtea, ſed tunc cum attingit; id eſt, illam ipſam velocitatem quâcum corpus attingit locum ultimum & quâcum motus ceſſat. Et ſimiliter per ultimam rationem quantitatum evaneſcentium, intelligendam eſſe rationem quantitatum, non antequam evaneſcunt, non poſtea, ſed quâcum evaneſcunt. Pariter & ratio prima naſcentium eſt ratio quâcum naſcuntur. Et ſumma prima & ultima eſt quâcum eſſe (vel augeri aut minui) incipiunt & ceſſant. Extat limes quem velocitas in fine motûs attingere poteſt, non autem tranſgredi. Hæc eſt velocitas ultima. Et par eſt ratio limitis quantitatum & proportionum omnium incipientium & ceſſantium. Cumque hic limes ſit certus & definitus, problema eſt verè geometricum eundem determinare. Geometrica verò omnia in aliis geometricis determinandis ac demonſtrandis legitimè uſurpantur.

Contendi etiam poteſt, quod ſi dentur ultimæ quantitatum evaneſcentium rationes, dabuntur & ultimæ magnitudines: & ſic quantitas omnis conſtabit ex indiviſibilibus, contra quam *Euclides* de incommenſurabilibus, in libro decimo elementorum, demonſtravit. Verum hæc objectio falſæ innititur hypotheſi. Ultimæ rationes illæ quibuſcum quantitates evaneſcunt, revera non ſunt rationes quantitatum (ᵃ) ultimarum, ſed limites ad quos quantitatum ſine limite decreſcentium rationes ſemper appropinquant; & quas propius aſſequi poſſunt quàm pro datâ quâ-

(ᵃ) 141. Seu, quantitatum determinatarum & indiviſibilium, ſed &c.

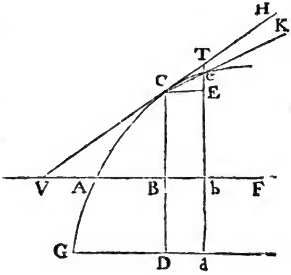
142. Ut quantitatum evaneſcentium aut naſcentium relationes atque proprietates inveniantur, conſiderantur quantitates finitæ, harum inveſtigantur relationes & proprietates & lex quâ continuò creſcunt vel decreſcunt; quibus cognitis facilè intelligitur quænam proprietates quantitatibus illis creſcentibus ac decreſcentibus ſemper conveniant, adeóque & cum in infinitum minuuntur & evaneſcunt, vel cum naſcuntur. Imò verò ex Lemmate primo aliiſque ſequentibus invenitur quænam ſint proprietates quæ licèt quantitatibus finitis non conveniant, evaneſcentibus tamen & naſcentibus competunt, cum nempè quantitates finitæ decreſcentes ad illas proprietates, ut ità dicam perpetuò accedunt, & ad eas tempore dato accedunt magis quàm pro differentiâ quâvis datâ.

Ex præcedentibus Lemmatis facilè deducitur ac demonſtratur *Newtoniana* fluxionum methodus cujus generalia principia ut potè nobis in poſterum profutura breviter explicabimus.

143.

quâvis differentiâ, nunquam verò tranſgredi, neque priùs attingere quàm quantitates diminuuntur in infinitum. Res clariùs intelligetur in infinitè magnis. Si quantitates duæ, quarum data eſt differentia, augeantur in infinitum, dabitur harum ultima ratio, nimirum ratio æqualitatis, nec tamen ideò dabuntur quan-

§ 1.



143. Quantitates indeterminatæ quæ continuò creſcunt vel decreſcunt, variabiles aut fluentes dicuntur; conſtantes verò aut determinatæ vocantur, quæ aliis continuò creſcentibus vel decreſcentibus, eædem manent. Ordinatæ B C, B D, ſuper baſi A F, motu ſibi ſemper parallelo ità progrediantur, ut ordinatâ B D, eâdem ſemper manente, punctum D, rectam G D d deſcribat, & interim continuò creſcente vel decreſcente ordinatâ B C, punctum C deſcribat curvam A C c; abſciſſa A B, ordinata B C, curvæ arcûs A c, areæ A C B, A G D B, ſunt quantitates indeterminatæ ſeu fluentes; recta verò B D, eſt quantitas conſtans.

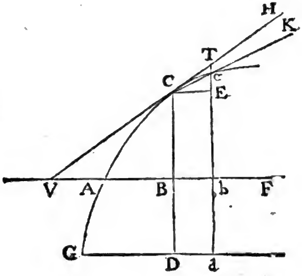
144. Quantitates fluentes, ut A B, B C, æqualibus temporibus creſcentes & creſcendo genitæ, pro velocitate majori vel minori quâ creſcunt, ac generantur, evadunt majores vel minores; Si enim punctum B, velociùs ſemper progrediatur quam punctum C, in lineâ B C, incrementa B b, fluentis A B, majora erunt incrementis E c, fluentis B C, eodem tempore genitis. Velocitates quibus illa incrementa ut B b, E c, eodem tempore genita, primò naſcuntur, dum nempè b c, coincidit cum B C, dicuntur *fluxiones*, & methodus ex fluentibus inveniendi fluxiones, methodus fluxionum directa vocatur; methodus verò ex fluxionibus inveniendi fluentes, *methodus fluxionum inverſa* appellatur.

145. Velocitates quibus fluentium quantitatum incrementa eodem tempore genita, primò naſcuntur, ſunt uniformes... *Dem*... Cum curva A C c, motu puncti C, velocitate quâvis finitâ progredientis deſcribi poſſit, ſi illiùs puncti velocitas ſecundùm directionem C E, lineæ A B parallelam, ſupponatur uniformis, velocitas ejuſdem ſecundùm directionem E c, pro variâ curvæ A C c naturâ, varia quidem erit in diverſis curvæ punctis, v. gr. in C, & c; ſed quò magis punctum c, ad C, accedet, eò minor erit velocitatis ſecundùm directionem E c, variatio in punctis C, & c, adeò ut dum punctum c, coincidit cum puncto C, omnis velocitatis per E c, variatio expiret. Quare (*Lem.* 1.) velocitates quibus fluentium incrementa eodem tempore genita primò naſcuntur, ſunt uniformes. Q. e. D.

146. Cum ergò velocitates uniformes ſint ſpatiis eodem tempore percurrendis proportionales (5), manifeſtum eſt fluxiones (143) eſſe in ratione incrementorum eodem tempore genitorum, dum primò naſcuntur vel ultimò evaneſcunt; adeòque ut fluxionum relatio inveniatur, ſumere oportet incrementa fluentium eodem tempore genita, & primam eorum incre-

L 2 men-

quantitates ultimæ ſeu maximæ quarum iſta eſt ratio. In ſequentibus igitur, ſi quando facili rerum conceptui conſulens, dixero quantitates quàm minimas, vel evaneſcentes, vel ultimas; cave intelligas quantitates magnitudine determinatas, ſed cogita ſemper diminuendas ſine limite.



mentorum naſcentium, vel ultimam evaneſcentium rationem conſiderare tanquam relationem fluxionum.

147. Hinc ſumma fluxionum eſt ut ſumma incrementorum naſcentium vel evaneſcentium, ſumma verò incrementorum omnium naſcentium eſt ipſa quantitas fluens; nam ſi tota area A c b diviſa intelligatur in parallelogramma ut B E, eorumque numerus augeatur & latitudo B b minuatur in infinitum, ſumma omnium incrementorum naſcentium B b, ab A uſque ad b, erit ipſa fluens A b, ſumma omnium incrementorum E c, ab A, uſque ad c, erit fluens b c, ſumma omnium C c, erit arcus fluens A c, & ſumma omnium parallelogrammorum B E, erit area A c b fluens (106. 107.); ergò ſumma fluxionum eſt ut ipſa quantitas fluens.

148. Quoniam in figurâ ſuperiori fluxio aliqua, vel abſciſſæ A B, vel ordinatæ C B, aut arcûs A C, ad arbitrium tanquam uniformis ſpectari poſſit, (Ex dictis 145.) patet ex pluribus fluxionibus unam tanquam conſtantem poſſe conſiderari & quantitate finitâ conſtanti exponi, dum aliæ fluxiones variâ ratione mutari & quantitatibus variabilibus exponi poſſunt.

149. Quare cum quantitates variabiles ſuas habeant fluxiones quæ rursùs poſſunt eſſe variabiles, liquet dari fluxiones fluxionum, ſeu varios, imò infinitos fluxionum ordines. Fluentium finitarum fluxiones dicuntur fluxiones primæ; harum fluxiones primæ dicuntur fluentium finitarum fluxiones ſecundæ, & ità porrò in infinitum.

150. Ductâ rectâ V T H, quæ curvam tangat in C, ipſiſque b c & B A productis occurrat in T & V; linea b c in locum ſuum priorem B C redeat, & ultima forma triangulorum evaneſcentium C E c, C E c, C E T, eſt ſimilitudinis & ultima ratio æqualitatis (*Lem.* VIII.) ideóque fluxiones primæ ipſarum A B, B C, A C,

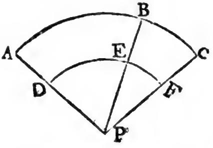
De motu Corporum. Liber Primus.

§1.

A C, ſunt (146.) ut trianguli C E T, latera C E, E T, & C T, & per eadem latera exponi poſſunt, vel quod perindè eſt, per latera V B, C B, & V C, trianguli V B C, ſimilis triangulo C E T.

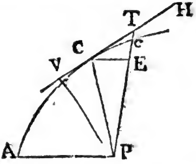
151. Quoniam areæ B b c C, B b d D, eodem tempore deſcribuntur communi ordinatarum B C, B D motu, erunt areæ illæ naſcentes vel evaneſcentes ut fluxiones arearum A C B, A B D G, (146); ſed area naſcens B b c C, non differt à parallelogrammo B E, (107); ergò fluxiones arearum A C B, A B D G, ſunt in ratione primâ parallelogrammorum B E, B d naſcentium, ſeu ob commune latus B b, in ratione ordinatarum C B, B d.

152. Si circulus centro B, radio fluente B C, deſcriptus per longitudinem abſciſſæ A B, ad angulos rectos progrediatur, deſcribet ſolidum idem quod ex rotatione figuræ A C B, circà axem A B generaretur, & fluxio ſolidi geniti erit ut factum ex areâ circuli illius in incrementum naſcens B b, abſciſſæ A B, & fluxio ſuperficiei ſolidi geniti erit ut factum ex perimetro ejuſdem circuli in arcum C c, vel tangentem C T, naſcentem... *Dem*.... Rectangulum naſcens B E, non differt à figurâ B b c C naſcente (107), adeòque incrementum naſcens ſolidi ex rotatione figuræ A C B, geniti æquale eſt ſolido ex rotatione rectanguli B E, circà latus B b, genito; hoc autem ſolidum eſt cylindrus æqualis facto ex areâ circuli radio C B deſcripti in altitudinem B b; ſolidi igitur motu circuli C B per axem A B geniti incrementum naſcens adeòque & ipſius fluxio (146) eſt ut factum ex areâ circuli in incrementum naſcens B b, abſciſſæ A B. Similiter cum arcus naſcens C c, cum tangente C T coincidat, (*Lem.* 7.) ſuperficies naſcens ex rotatione figuræ B b c C, genita æqualis eſt ſuperficiei coni truncati, adeòque æqualis facto ex ſemiſummâ peripheriarum, quarum ſunt radii B C, B c, in latus C T, ſeu ob b c = B C (107) æqualis facto ex peripheriâ circuli, cujus radius B C, in latus C T, vel arcum c t, naſcentem; ergò factum iſtud eſt incrementum naſcens ſuperficiei curvæ ex rotatione A C deſcriptæ, adeóque eſt ut illius ſuperficiei fluxio (146) Q. e. D.



153. Anguli rectilinei A P B, E P F, ſunt inter ſe directè ut arcus A B, E F, qui angulos ſubtendunt & reciprocè ut arcuum radii A P, E P... *Dem*... eſt angulus A P B, ad angulum B P C, ſeu E P F, ut arcus A B, ad arcum B C, adeóque ut A B : A P, ad B C : A P; ſed ob arcus ſimiles B C, E F, eſt B C : A P = E F : E P; ergò angulus A P B, eſt ad angulum E P F, ut A B : A P, ad E F : E P. Q. e. D

154. Hinc ſequitur 1°. quemlibet angulum A P B exprimi poſſe arcu A B qui ipſum ſubtendit diviſo per radium A P. 2°. Quemlibet arcum circuli A B, eſſe ut factum ex angulo A P B in radium A P, atquè adeò hoc facto exprimi poſſe. 3°. Incrementum naſcens anguli fluentis A P B, adeóque & illius anguli fluxionem (146) eſſe in ratione directâ arcûs circularis naſcentis & inversâ radii illius.



155. Recta P C fluens circà datum polum P revolvatur, & punctum illius extremum C, curvam A C c, deſcribat quam tangit in C recta V C H in quam ex polo P, demiſſa ſit perpendicularis P V. Sit A punctum in curvâ A C c fixum, progrediaturque recta P C de lo-

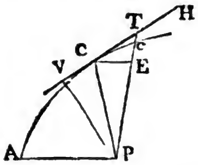
Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.

co ſuo P C, in locum novum P c, & producta P c, tangentem ſecet in T. Capiatur P E = P C, ſeu radio P C deſcribatur circuli arcus C E, ut habeantur E c, incrementum rectæ P C, C c, incrementum curvæ A c, P C c, incrementum areæ P A C P, angulus C P c, incrementum anguli A P C, eodem tempore genita. Redeat jam P C, in locum ſuum priorem P C, ut incrementa illa omnia evaneſcant & horum incrementorum evaneſcentium ratio ultima erit ratio fluxionum quantitatum fluentium quarum ſunt incrementa (146).

156. Quoniam autem perveniente P c, in locum P C, triangula C E c, C E T, evaneſcentia ſunt ultimò ſimilia & æqualia (*Lem.* 8.) circuli arcus C E, cum chordâ ipſius coincidit, ipſique æqualis eſt (*Lem.* 7.), & præterea evaneſcente angulo C P E, anguli P C E, P E C, ſunt inter ſe & duobus rectis æquales, adeóque C E, ad P T, normalis. Manifeſtum eſt .... 1°. Triangulum T V P eſſe triangulo T E C, adeóque & triangulo evaneſcenti c E C, ſimile, ac proindè fluxiones arcûs A C, & rectæ P C, eſſe inter ſe ut duo latera V T, T P, ſeu V C, P C... 2°. Fluxionem anguli A P C, eſſe ut C E: P C (154)...3°. Fluxionem areæ ACP, eſſe ut factum ex rectâ C P, in normalem C E evaneſcentem; nam area trianguli P C T, æqualis dimidio rectangulo P T × C E, ſeu ob evaneſcentem E T, dimidio rectangulo P C × C E (*Lem.* 1.).

157. Similibus argumentis ex fluentibus calculo expreſſis fluxiones inveniri poſſunt, in quantitatibus finitis analyſim inſtituendo, & finitarum naſcentium vel evaneſcentium rationes primas vel ultimas inveſtigando. Hæc autem ſunt calculi fluxionum principia. Nimirùm... 1°. Cùm fluxiones ſint in primâ ratione incrementorum naſcentium & ultimâ evaneſcentium (146), fluxiones iis incrementis primò naſcentibus vel ultimò evaneſcentibus poſſunt exprimi... 2°.... Quantitates quæ nonniſi ſuo incremento naſcente aut evaneſcente differunt, ſunt æquales (*Lem.* 1.)... 3°.... Quantitatum conſtantium nullæ ſunt fluxiones, nulla incrementa vel decrementa.... 4°. Si inter quantitates indeterminatas aliquæ decreſcant, dum aliæ creſcunt, decreſcentium fluxiones ſunt negativæ, ſunt enim ut incrementa negativa, ſeu ut decrementa.



158. Quantitates fluentes deſignantur ultimis alphabeti litteris z, y, x, v; conſtantes indicantur aliis a, b, c &c. fluentium fluxiones primas aut ipſis proportionalia incrementa naſcentia vel evaneſcentia Newtonus notat iiſdem litteris quibus fluentes exponuntur, ſed iis punctuatis ſic $\dot z$, $\dot y$, $\dot x$, $\dot v$; Leibnitius litteram d, incrementi naſcentis vel evaneſcentis notam characteriſticam fluentibus præponit ſic dz, dy, dx, dv. Fluxiones ſecundæ deſignantur ſic $\ddot z$, $\ddot y$, $\ddot x$, $\ddot v$, vel ſic ddz, ddy, ddx, ddv; fluxiones tertiæ ſic $\dddot z$, $\dddot y$, $\dddot x$, $\dddot v$, vel ſic $dddz$, $dddy$, $dddx$, $dddv$, vel ſic d^3z, d^3y, d^3x, d^3v, & ità deinceps in infinitum.

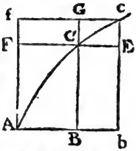
159. Fluxio quantitatis ex pluribus terminis per additionem vel ſubtractionem compoſitæ, æqualis eſt omnibus ſingulorum terminorum fluxionibus per eadem ſigna + vel — junctis; ità fluxio quantitatis compoſitæ $a + z - y$, erit $dz - dy$... *Dem*... Totius quantitatis $a + z - y$, incrementum tempore dato genitum æquale eſt differentiæ incrementorum ipſarum z & y, cum nullum ſit conſtantis a, incrementum (156) adeóque incrementum naſcens vel evaneſcens quantitatis $a + z - y$, æquale eſt differentiæ incrementorum naſcentium vel evaneſcentium ipſarum z & y, ſed fluxiones ſunt in primâ ratione incrementorum naſcentium (145) ergò fluxio totius quantitatis $a + z - y$, eſt $dz - dy$. Q. e. D. Si creſcente quantitate z, decreſceret y, ipſius y, fluxio foret negativa nempè $-dy$ (157) adeóque fluxio $dz - dy$, fieret $dz + dy$. Quod in ſequentibus ſemper eſt obſervandum.

160. Flu-

Digitized by Google

§ 1.

160. Fluxio quantitatis fluentis ex pluribus variabilibus per multiplicationem compoſitæ, æqualis eſt ſummæ factorum ex ſingularum variabilium componentium fluxionibus in aliarum variabilium facta ductis, hæc eſt fluxio quantitatis $z\,y$, eſt $z\,d\,y + y\,d\,z$, fluxio quantitatis $a\,z$ eſt $a\,d\,z$, fluxio quantitatis $z\,y\,x$ eſt $y\,x\,d\,z + z\,x\,d\,y + z\,y\,d\,x$... *Dem*... Recta C B, fluens ſuper recta A B cui normalis eſt, progrediatur, illiuſque punctum extremum C, deſcribat curvam A C c, perveniat B C in locum b c, & compleantur rectangula B F, b f, B E, c f, E G; A B, dicatur z, B C dicatur y, adeóque rectangulum B F erit $z\,y$. Dum B C, pervenit in b c, incrementum rectanguli B F ſeu $z\,y$, æquale eſt ſummæ rectangulorum B E, E G, C f; eſt autem rectangulum E G, ad rectangulum E B, ut E c ad B C, & ad rectangulum C f ut C E, vel B b, ad F C, ſeu A B; quarè redeunte b c, in locum ſuum priorem B C, & decreſcentibus continuò E c, & E C atque tandem ultimò evaneſcentibus, decreſcit quoque & tandem evaneſcit, ſeu fit inaſſignabilis ratio rectanguli E G, ad rectangula E B & c f; adeóque (*Lem.* 1.) ſumma duorum rectangulorum B E, c f, fit ultimò æqualis ſummæ trium rectangulorum B E, E G, C f; ergò incrementum naſcens rectanguli B F, ſeu $z\,y$, æquale eſt ſummæ duorum rectangulorum B E, C f, naſcentium, ſeu ſummæ factorum ex z, in incrementum naſcens ipſius y, & ex y, in incrementum naſcens ipſius z, adeóque fluxio facti $z\,y$ (146) eſt $z\,d\,y + y\,d\,z$. Undè etiam fluxio $a\,z$, eſt $a\,d\,z$, quia a, conſtans nullam habet fluxionem. Q. e. D.



Jam in facto $z\,y\,x$ ponatur $z\,y = v$, & erit $z\,y\,x = v\,x$, adeóque fluxio facti $z\,y\,x$ æqualis fluxioni facti $v\,x$; fluxio autem facti $v\,x$, eſt $x\,d\,v + v\,d\,x$, & fluxio facti $z\,y = v$, eſt $z\,dy + y\,d\,z = d\,v$, id eſt ſi in fluxione $x\,d\,v + v\,d\,x$, pro v & $d\,v$ ſcribantur $z\,y$, & $z\,d\,y + y\,d\,z$, fluxio facti $z\,y\,x$, nempè $x\,d\,v + v\,d\,x$, erit $x\,z\,d\,y + y\,x\,d\,z + z\,y\,d\,x$; & par eſt ratio aliorum factorum quorumcumque. Q. e. D.

161. *Cor.* 1... Ponantur ſingulæ fluentes z, y, x, &c. ſibi mutuò ſemper æquales & ipſius $z\,z$, fluxio erit $z\,d\,z + z\,d\,z = 2\,z\,d\,z$: fluxio cubi z^3 erit $z\,z\,d\,z + z\,z\,d\,z + z\,z\,d\,z + 3\,z\,z\,d\,z = 3\,z^{3-1}\,d\,z$: fluxio potentiæ z^4 erit $4\,z^3\,d\,z = 4\,z^{4-1}\,d\,z$: & eodem argumento fluxio potentiæ cujuſcumque z^m erit $m\,z^{m-1}\,d\,z$.

162. *Cor.* 2.... Fluxio quantitatis $z^{\frac{1}{2}}$, eſt $\frac{1}{2}\,z^{\frac{1}{2}-1}\,d\,z = \frac{d\,z}{2\,z^{\frac{1}{2}}}$ nam ponatur $z^{\frac{1}{2}} = y$ & erit $z = y\,y$, $d\,z = 2\,y\,dy$ (161) $d\,y = d.\,(z^{\frac{1}{2}}) = d\,z : 2\,y = d\,z : 2\,z^{\frac{1}{2}}$ & generaliter fluxio quantitatis $z^{m:n}$ eſt $\frac{m}{n}\,z^{\frac{m}{n}-1}\,d\,z = \frac{m}{n}\,z^{\overline{m-n}:n}\,d\,z$.

163. *Cor.* 3... Fluxio fractionis $z : y$ ſeu $z\,y^{-1}$ eſt $\overline{y\,d\,z - z\,d\,y} : y\,y$. Nam fiat $z : y = x$, erit $z = y\,x$, $d\,z = y\,d\,x + x\,d\,y$ & $d\,x = \underline{d\,z : y - x\,d\,y} : y = d\,z : y - z\,d\,y : y\,y = y\,d\,z - z\,d\,y : y\,y$: fluxio quantitatis $a\,z^m\,y^n$ eſt $a\,m\,y^n\,z^{m-1}\,d\,z = a\,n\,z^m\,y^{n-1}\,dy$ (160).

164. Fluxiones ſecundæ ex primis fluxionibus, tertiæ ex ſecundis, iiſdem regulis colliguntur quibus primæ fluxiones ex fluentibus finitis eruuntur. Ubi tamen ſic pergitur ad fluxiones ſecundas, tertias & ſequentes, convenit quantitatem aliquam ut uniformiter fluentem conſiderare, & pro ejus fluxione primâ unitatem ſcribere, pro ſecundâ verò & ſequentibus nihil (148). Exemplum unicum afferemus; ſit quærenda fluxio fluxionis $y\,dy : d\,x$, ſupponendo quantitatem x uniformiter fluere, adeóque $d\,x$ conſtantem ſeu $= 1$, invenitur fluxio $y\,d\,d\,y + d\,y^2 : d\,x$.

165. Ex fluxionibus fluentes inveniuntur, operationes inſtituendo iis contrarias quibus ex fluentibus reperiuntur fluxiones; quarè, litterâ S, ſignificante fluentem fluxionis cui præponitur, ſeu ſummam primam incrementorum naſcentium, vel ultimam evaneſcentium (147) methodi fluxionum inverſæ fundamentales formulæ erunt.

1. S.

Digitized by Google

1. $S.\ dz = z$. & $S.\ adz = az$. $S.\ dz : a = z : a$.

2. $S.\ mz^{m-1}dz = z^m$,
& $S.\ maz^{m-1}dz = az^m$,
& $S.\ \frac{m}{n}z^{m-n:n}dz = {}^{m:n}$.

3. $S.\ (dz \overline{+} dy) = z \overline{+} y$.
4. $S.\ (zdy + ydz) = yz$.
& $S.\ (amy^nz^{m-1}dz + anz^my^{n-1}dy) = az^my^n$.
5. $S.\ (ydz - zdy) : yy = z : y$.

166. Si fluxio, cujus fluens quæritur, nulli harum formularum ſimilis fuerit, per novarum variabilium ſubſtitutionem aliaſque artes quas hic tractare nobis non licet, ad illas ſæpè reduci poteſt. Sit in exemplum fluxio $\overline{cb+cx}^{\frac{1}{2}} \times dx$, ponatur $\overline{cb+cx}^{\frac{1}{2}} = z$ & erit $cb + cx = zz$, & $cdx = 2zdz$, & $dx = \frac{2zdz}{c}$ adeóque $\overline{cb+cx}^{\frac{1}{2}} \times dx = 2zzdz : c$. Hæc autem fluxio ſimilis eſt formulæ $maz^{m-1}dz$, eſtque $z^2 = z^{m-1}$, adeóque $m = 3$, $ma = 3a = 2 : c$, & $a = 2 : 3c$. adeóque $S.\ maz^{m-1}dz = az^m = 2z^3 : 3c$ loco z, ſcribatur ipſius valor $\overline{cb+cx}^{\frac{1}{2}}$, & invenietur $S.\ \overline{cb+cx}^{\frac{1}{2}} \times dx = \frac{2}{3c}(cb+cx) \times \overline{cb+cx}^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{3}(b+x) \times \overline{cb+cx}^{\frac{1}{2}}$.

167. Superiorum formularum auxilio ex fluxionibus ſecundis primæ, ex tertiis ſecundæ &c. inveniuntur. Exempla ſint $S.\ ddx = dx$. $S.\ d.x.ddx = \frac{1}{2}dxdx = \frac{1}{2}dx^2$. Nam ponatur $dx = y$, & erit $ddx = dy$, & $dx\,ddx = ydy$, & per formulam ſecundam invenitur $S : ydy = \frac{1}{2}yy$, & ſi loco y ſubſtituatur ipſius valor, dx, erit $S.\ ydy = S.\ dx\,ddx = \frac{1}{2}dx^2$. Similiter. $S.\ (dy^2 + yddy) : dx = ydy : dx$, ſupponendo dx conſtantem, nam fiat $ddy = dv$, adeóque $dy = v$, & fluxio propoſita evadet, $vdy + ydv : dx$, cujus fluens (per formulam 4am) eſt $vy : dx$, ob dx conſtantem. Cum autem ſit $v = dy$, erit $vy : dx = ydy : dx$.

168. Poſtquam fluentes ex fluxionibus collectæ ſunt, ſi de veritate concluſionis dubitatur, fluxiones fluentium inventarum viciſſim colligendæ ſunt, & cum fluxionibus ſub initio propoſitis comparandæ. Nam ſi prodeunt æquales, concluſio rectè ſe habet; ſin minus, corrigendæ ſunt fluentes ſic, ut earum fluxiones fluxionibus ſub initio propoſitis æquentur. Nam & fluens pro lubitu aſſumi poteſt, & aſſumptio corrigi, ponendo fluxionem fluentis aſſumptæ æqualem fluxioni propoſitæ, & terminos homologos inter ſe comparando.

169. Quoniam conſtantis quantitatis nulla eſt fluxio, & eadem proinde fluxio dz ex fluentibus z, & $\overline{z+a}$, colligitur; fluens omnis quæ ex fluxione primâ colligitur, augeri poteſt vel minui quantitate aliquâ conſtante; quæ ex fluxione ſecundâ colligitur, augeri poteſt vel minui quantitate cujus fluxio ſecunda nulla eſt; quæ ex fluxione tertiâ colligitur, augeri poteſt vel minui quantitate cujus fluxio tertia nulla eſt. Et ſic deinceps in infinitum.

170. Cum fluens compoſita, quæ ex propoſitâ fluxione collecta eſt, unicam variabilem includit, ut fluens $\frac{2}{3}(b + x) \times \overline{bc+cx}^{\frac{1}{2}}$, quæ (166) deducta eſt ex fluxione $\overline{cb+cx}^{\frac{1}{2}} \times dx$, ita determinari ſolet conſtans adjungenda vel detrahenda: in fluente inventâ loco variabilis x, ponitur o; tum ſi fluens ipſa ſit etiam o, completa eſt. Si quid verò reſiduum fuerit, ut hic remanet $+ \frac{2}{3}b\sqrt{bc}$, hoc reſiduum cum ſigno contrario fluenti primò inventæ adjicitur, ut habeatur fluens completa, $\frac{2}{3}(b+x) \times \overline{bc+cx}^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3}b\sqrt{bc}$. Hujus regulæ ratio eſt, quod fluens inventa ſupponi poſſit exhibere aream curvæ alicujus, cujus ſit abſciſſa variabilis x, adeo ut dum $x = o$, area, fluente expreſſâ, ſit etiam o; undè ſi in fluente primò inventâ loco x, ſubſtituatur o, ſitque aliquod reſiduum, illud ex fluente detrahi debet. Generaliter, quantitas conſtans adjicienda vel ſubducenda ex naturâ quæſtionis determinatur, aut arbitraria eſt.

SEC-

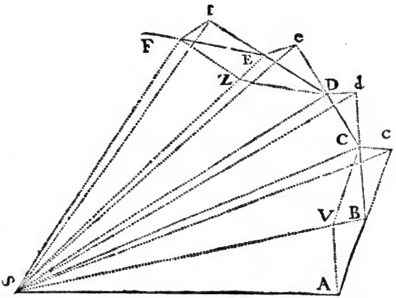
Digitized by Google

SECTIO II.

De inventione virium centripetarum.

PROPOSITIO I. THEOREMA I.

Areas, quas corpora in gyros acta radiis ad immobile centrum virium ductis deſcribunt, & in planis immobilibus conſiſtere, & eſſe temporibus proportionales.

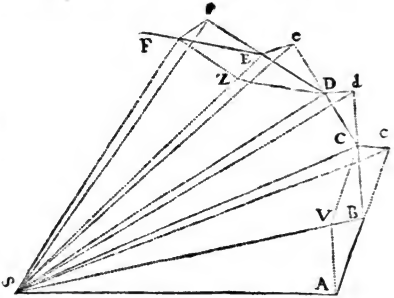


Dividatur tempus in partes æquales, & primâ temporis parte deſcribat corpus vi inſitâ rectam *A B*. Idem ſecundâ temporis parte, ſi nil impediret, rectâ pergeret ad *c*, (per leg. 1.) deſcribens lineam *B c* æqualem ipſi *A B*; adeò ut radiis *A S*, *B S*, *c S* ad centrum actis, confectæ forent æquales areæ *A S B*, *B S c*. Verùm ubi corpus venit ad *B*, agat vis centripeta impulſu unico ſed magno, efficiatque ut corpus de recta *B c* declinet & pergat in rectâ *B C*. Ipſi *B S* parallela agatur *c C*, occurrens *B C* in *C*; & completâ ſecundâ temporis parte, corpus (per legum corol. 1.) reperietur in *C*, in eodem ([a]) plano cum triangulo *A S B*. Junge *S C*; & triangulum *S B C*, ob parallelas *S B*, *C c*, æquale erit triangulo *S B c*, atque ideo etiam

([a]) 171. Reperitur in C, in eodem plano cum triangulo A S B; nam diagonalis B C, quam viribus conjunctis mobile deſcribit, eſt in plano parallelogrammi V B C c, cujus latera B V, B c, viribus ſeparatis deſcribenda, ſunt in plano trianguli A S B.

Digitized by Google

etiam triangulo *S A B*. Simili argumento ſi vis centripeta ſucceſſivè agat in *C*, *D*, *E*, &c. faciens ut corpus ſingulis temporis particulis ſingulas deſcribat rectas *C D*, *DE*, *EF*, &c. jacebunt hæ omnes in eodem plano ; & triangulum *S C D* triangulo *S B C*, & *S D E* ipſi *SCD*, & *SEF* ipſi *S D E* æquale erit. Æqualibus igitur temporibus æquales areæ in plano immoto



deſcribuntur : & componendo , ſunt arearum ſummæ quævis *S A D S*, *S A F S* inter ſe , ut ſunt tempora deſcriptionum. Augeatur jam numerus & minuatur latitudo triangulorum in infinitum ; & eorum ultima perimeter *A D F*, (per corollarium quartum lemmatis terti.) erit linea curva : ideòque vis centripeta , quâ corpus a tangente hujus curvæ perpetuò retrahitur , aget indeſinenter ; areæ verò quævis deſcriptæ *S A D S*, *S A F S* temporibus deſcriptionum ſemper proportionales , erunt iiſdem temporibus in hoc caſu proportionales. *Q. E. D.*

Corol. 1. Velocitas corporis in centrum immobile attracti eſt in ſpatiis non reſiſtentibus reciprocè ut perpendiculum à centro illo in orbis tangentem rectilineam demiſſum. (b) Eſt enim velocitas in locis illis *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, ut ſunt baſes æqua-

(b) 172. Eſt enim velocitas in locis illis A , B , C, D , E , ut ſunt baſes æqualium triangulorum A B , B C , C D, D E, E F , æqualibus temporibus uniformi motu deſcriptæ (5); æqualium autem triangulorum baſes ſunt reciprocè ut eorum altitudines , hoc eſt , reciprocè ut perpendicula ex centro virium S, in baſes demiſſa.

Digitized by Google

qualium triangulorum *AB*, *BC*, *CD*, *DE*, *EF*; & hæ baſes ſunt reciprocè ut perpendicula in ipſas demiſſa.

Corol. 2. Si arcuum duorum æqualibus temporibus in ſpatiis non reſiſtentibus ab eodem corpore ſucceſſivè deſcriptorum chordæ *AB*, *BC* compleantur in parallelogrammum *ABCU*, & hujus diagonalis *BU* in eâ poſitione quam ultimò habet ubi arcus illi in infinitum diminuuntur, producatur utrinque; (c) tranſibit eadem per centrum virium.

Corol. 3. Si arcuum æqualibus temporibus in ſpatiis non reſiſtentibus deſcriptorum chordæ *AB*, *BC* ac *DE*, *EF* compleantur in parallelogramma *ABCU*, *DEFZ*; vires in *B* & *E* ſunt ad invicem in ultimâ ratione diagonalium *BU*, *EZ*, ubi arcus iſti in infinitum diminuuntur. Nam corporis motus *BC* & *EF* componuntur (per legum corol. 1.) ex motibus *Bc*, *BU* & *Ef*, *EZ*: atqui *BU* & *EZ*, ipſis *Cc* & *Ff* æquales, in demonſtratione propoſitionis hujus generabantur ab impulſibus vis centripetæ in *B* & *E*, ideòque ſunt his impulſibus proportionales.

Corol. 4. Vires quibus corpora quælibet in ſpatiis non reſiſtentibus à motibus rectilineis retrahuntur ac detorquentur in orbes curvos, ſunt inter ſe ut arcuum æqualibus temporibus deſcriptorum ſagittæ illæ quæ convergunt ad centrum virium, & chordas biſecant ubi arcus illi in infinitum diminuuntur. (d) Nam hæ ſagittæ ſunt ſemiſſes diagonalium, de quibus egimus in corollario tertio.

Corol.

ſa. Cum igitur evaneſcentibus triangulis A S B, B S C &c. ultima perimeter A B C D E F, ſit linea curva quam (113) rectæ A c, B d, C e, D f, tangunt in punctis A, B, C, D, E, manifeſtum eſt velocitates in illis punctis eſſe reciprocè ut perpendicula à centro S, in tangentes demiſſa.

(c) 173. Tranſibit eadem per centrum virium. Nam ex demonſtratione propoſitionis hujus, ſumptâ B V = C c, erit V C, æqualis & parallela lineæ B c, ſeu A B, adeóque V A, B C, erunt etiam æquales & parallelæ, & B V, quæ producta tranſit per centrum S, erit diagonalis parallelogrammi A B C V.

174. Si ducantur per puncta quævis B & D, perimetri curvæ vel diverſarum curvarum tangentes B c, D e, & demittantur angulorum contactuum ſubtenſæ C c, E e, radiis S B, S D, ad centrum virium convergentibus parallelæ, ſintque arcus B C, D E, æqualibus temporibus deſcripti, patet ex corollario 3. vires centripetas in B & D, eſſe ad invicem in ultimâ ratione ſubtenſarum C c, E e.

(d) 175. Nam hæ ſagittæ ſunt ſemiſſes diagonalium B V, E Z, diagonales enim A C, D F, quæ ſunt chordæ arcuum evaneſcentium A B C, D E F, alias diagonales B V, E Z, biſecant.

M 2

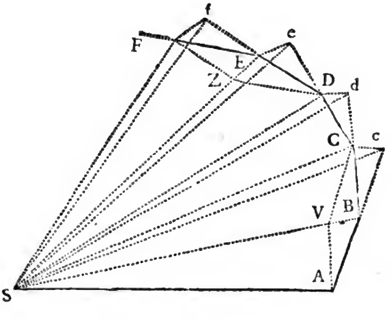
DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

Corol. 5. Ideoque vires eædem ſunt ad ([c]) vim gravitatis; ut hæ ſagittæ ad ſagittas horizonti perpendiculares arcuum parabolicorum, quos projectilia eodem tempore deſcribunt.

Corol. 6. Eadem omnia obtinent per legum corol. v. ubi plana, in quibus corpora moventur, unà cum centris virium, quæ in ipſis ſita ſunt, non quieſcunt, ſed moventur uniformiter in directum.

PROPOSITIO II. THEOREMA II.

Corpus omne, quod movetur in lineâ aliquâ curvâ in plano deſcriptâ, & radio ducto ad punctum vel immobile, vel motu rectilineo uniformiter progrediens, deſcribit areas circa punctum illud temporibus proportionales, urgetur à vi centripetâ tendente ad idem punctum. Caſ.



([c]) 176. Vis enim gravitatis per lineas parallelas ad horizontem perpendiculares agit, & gravia obliquè projecta parabolas deſcribunt (40), quod etiam in figurâ ſuperiori contingeret; ſi centrum virium S, in infinitum abiret, & vis centripeta in omnibus punctis A, B, C, D, eadem maneret.

Caſ. 1. Nam corpus omne, quod movetur in lineâ curvâ, detorquetur de curſu rectilineo per vim aliquam in ipſum agentem (per leg. 1.) Et vis illa, quâ corpus de curſu rectilineo detorquetur, & cogitur triangula quam minima *S A B*, *S B C*, *S C D*, &c. circa punctum immobile *S* temporibus æqualibus æqualia deſcribere, ([f]) agit in loco *B* ſecundum lineam parallelam ipſi *c C* (per prop. XL. lib. 1. elem. & leg. II.) hoc eſt, ſecundum lineam *B S*; & in loco *C* ſecundum lineam ipſi *d D* parallelam, hoc eſt, ſecundum lineam *S C*, &c. Agit ergo ſemper ſecundum lineas tendentes ad punctum illud immobile *S*. *Q. E. D.*

Caſ. 2. Et, per legum corollarium quintum, perinde eſt, ſive quieſcat ſuperficies, in quâ corpus deſcribit figuram curvilineam, ſive moveatur eadem unà cum corpore, figurâ deſcriptâ, & puncto ſuo S uniformiter in directum.

Corol. 1. In ſpatiis vel mediis non reſiſtentibus, ſi areæ non ſunt temporibus proportionales, vires non tendunt ad concurſum radiorum; ([g]) ſed indè declinant in conſequentia, ſeu verſus plagam in quam fit motus, ſi modo arearum deſcriptio acceleratur: ſin retardatur, declinant in antecedentia.

Corol.

([f]) 177. Agit in loco B, ſecundùm lineam parallelam ipſi C c, hoc eſt, ſecundùm lineam B S; nam ſolâ vi inſitâ in A, corpus uniformi cum motu progrederetur per rectam A B c, & æqualibus temporibus æquales lineas A B, B c, deſcriberet; verùm per vim centripetam in B, detorquetur à rectâ B c, ut aliam rectam B C, eodem tempore deſcribat quo deſcripſiſſet B c; adeóque junctâ C c, vis centripeta agit in B, ſecundùm directionem parallelam ipſi C c (per coroll. 1. Leg.), ſed ob A B = B c, & ob triangulum S B C, æquale triangulo S A B, (*per hyp.*), erit triangulum S A B = triang. S B c = triang. S B C, adeóque per prop. 40. vel 39. *lib.* 1. *Elem.* communis triangulorum S B C, S B c æqualium baſis B S, parallela eſt rectæ C c, quæ illorum triangulorum vertices jungit; cùm igitur, per demonſtrata, vis centripeta in B, agat ſecundùm directionem parallelam lineæ C c, neceſſum eſt ut agat ſecundùm directionem rectæ B S, hoc eſt, ut tendat ad centrum S.

([g]) 178. Sed indè declinant in conſequentia, ſi modò arearum deſcriptio acceleratur: ſin retardatur, declinant in antecedentia. Nam ſi triangulum S B C, æquale non eſt triangulo S A B, ſeu S B c, eodem tempore deſcripto, recta C c, non erit parallela lineæ B S, ſed producta cum lineâ S B, ità converget ut tendat in plagam motûs, ſi triangulum S B C, triangulo S B c, majus eſt, & tendat in plagam contrariam ſi triangulum S B C, triangulo S B c, minus. Quarè vis centripeta in B, agens ſecundùm directionem parallelam lineæ C c, in primo caſu declinat in conſequentia, in ſecundo caſu declinat in antecedentia.

Digitized by Google

Corol. 2. (h) In mediis etiam reſiſtentibus, ſi arearum deſcriptio acceleratur, virium directiones declinant à concurſu radiorum verſus plagam, in quam fit motus.

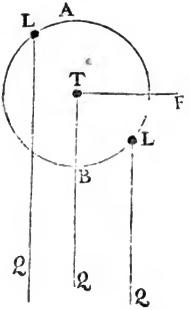
Scholium.

Urgeri poteſt corpus à vi centripetâ compoſitâ ex pluribus viribus. In hoc caſu ſenſus propoſitionis eſt, quod vis illa quæ ex omnibus componitur, tendit ad punctum *S*. (i) Porro ſi vis aliqua agat perpetuò ſecundum lineam ſuperficiei deſcriptæ perpendicularem; hæc faciet ut corpus deflectatur à plano ſui motus: ſed quantitatem ſuperficiei deſcriptæ nec augebit nec minuet, & propterea in compoſitione virium negligenda eſt.

PROPOSITIO III. THEOREMA III.

Corpus omne, quod radio ad centrum corporis alterius utcunque moti ducto deſcribit areas circa centrum illud temporibus proportionales, urgetur vi compoſitâ ex vi centripetâ tendente ad corpus illud alterum, & ex vi omni acceleratrice quâ corpus illud alterum urgetur.

(k) Sit corpus primum *L*, & corpus alterum *T*: & (per legum



(h) 179. Cum enim medium reſiſtat accelerationi deſcriptionis arearum, liquet arearum deſcriptionem etiam ſublatâ medii reſiſtentiâ accelerari oportere, ac proindè per Coroll. 1. virium directiones declinare à concurſu radiorum, in S, versùs plagam in quam fit motus.

(i) 180. Porrò ſi vis illa perpetuò ſecundùm lineam ſuperficiei deſcriptæ perpendicularem agat, planum ſubjectum duntaxat premit, & corpus in illo plano motum in neutram partem impellit, ac proindè nec ſuperficiei deſcriptæ quantitatem auget nec minuit, & propterea in compoſitione virium in plano agentium negligenda eſt.

(k) 181. Corpus L, circà alterum T, in curvâ A L B, ità revolvatur, ut circà illius centrum T, ſemper deſcribat areas temporibus proportionales, dùm interim corpus T, urgetur vi acceleratrice ſecundùm directionem T Q, & per Leg. Coroll. 6. ſi vi novâ acceleratrice quæ æqualis & contraria ſit illi quâ corpus T ſecundùm directionem T Q urgetur, urgea-

Digitized by Google

legum corol. VI.) ſi vi novâ, quæ æqualis & contraria ſit illi, quâ corpus alterum *T* urgetur, urgeatur corpus utrumque ſecundum lineas parallelas; perget corpus primum *L* deſcribere circa corpus alterum *T* areas eaſdem ac priùs: vis autem, qua corpus alterum *T* urgebatur, jam deſtruetur per vim ſibi æqualem & contrariam; & propterea (per leg. I.) corpus illud alterum *T* ſibimet ipſi jam relictum vel quieſcet, vel movebitur uniformiter in directum: & corpus primum *L* urgente differentiâ virium, id eſt, urgente vi reliquâ perget areas temporibus proportionales circa corpus alterum *T* deſcribere. Tendit igitur (per theor. II.) differentia virium ad corpus illud alterum *T* ut centrum. *Q. E. D.*

Corol. I. Hinc ſi corpus unum *L* radio ad alterum *T* ducto deſcribit areas temporibus proportionales; atque de vi totâ (ſive ſimplici, ſive ex viribus pluribus juxta legum corollarium ſecundum compoſitâ) quâ corpus prius *L* urgetur, ſubducatur (per idem legum corollarium) vis tota acceleratrix, qua corpus alterum urgetur: vis omnis reliqua, quâ corpus prius urgetur, tendet ad corpus alterum *T* ut centrum.

Corol. 2. Et, ſi areæ illæ ſunt temporibus quamproximè proportionales, vis reliqua tendet ad corpus alterum *T* quamproximè.

Corol. 3. Et vice verſa, ſi vis reliqua tendit quamproximè ad corpus alterum *T*, erunt areæ illæ temporibus quamproximè proportionales.

Corol. 4. Si corpus *L* radio ad alterum corpus *T* ducto deſcribit areas, quæ, cum temporibus collatæ, ſunt valde inæquales; & corpus illud alterum *T* vel quieſcit, vel movetur unifor-

geatur corpus utrumque ſecundùm lineas parallelas QT, QL; perget corpus L, deſcribere circà corpus T, areas eaſdem ac priùs; vis autem acceleratrix quâ corpus T urgebatur jam deſtruetur per vim ſibi æqualem & contrariam; & proptereà, per Leg. I. corpus illud T, ſibimet ipſi jam relictum vel quieſcet vel movebitur uniformiter in directum; nimirum quieſcet, ſi nullâ aliâ vi præter acceleratricem ſecundùm directionem TQ, antè urgebatur; movebitur verò æquabiliter per rectam aliquam TF, ſi præter vim acceleratricem per TQ, agentem, aliâ vi non acceleratrice ferebatur juxtà directionem TF, &c.

Digitized by Google

formiter in directum: actio vis centripetæ ad corpus illud alterum *T* tendentis vel nulla eſt, vel miſcetur & componitur cum actionibus admodum potentibus aliarum virium: viſque tota ex omnibus, ſi plures ſunt vires, compoſita ad aliud (ſive immobile ſive mobile) centrum dirigitur. Idem obtinet, ubi corpus alterum motu quocunque movetur; ſi modo vis centripeta ſumatur, quæ reſtat poſt ſubductionem vis totius in corpus illud alterum *T* agentis.

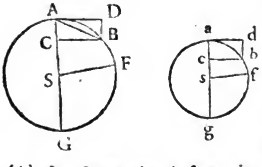
Scholium.

Quoniam æquabilis arearum deſcriptio index eſt centri, quod vis illa reſpicit, quâ corpus maximè afficitur, quâque retrahitur à motu rectilineo, & in orbita ſua retinetur; quidni uſurpemus in ſequentibus æquabilem arearum deſcriptionem ut indicem centri, circum quod motus omnis circularis in ſpatiis liberis peragitur?

PROPOSITIO IV. THEOREMA IV.

Corporum, quæ diverſos circulos æquabili motu deſcribunt, vires centripetas ad centra eorundem circulorum tendere; & eſſe inter ſe, ut ſunt arcuum ſimul deſcriptorum quadrata applicata ad circulorum radios.

(1) Tendunt hæ vires ad centra circulorum per prop. 11. & corol. 2. prop. 1. & ſunt inter ſe ut arcuum æqualibus tempo-



(1) 182. Corpora duo A & a, circulos A B G A, a b g a, æquabili motu deſcribant, & areæ ſeu ſectores A S F, F S G, & a s f, f s g, erunt in ſingulis circulis ut arcus A F, F G, & a f, f g; hoc eſt (5) ut tempora quibus deſcribuntur, ac proindè vires quibus corpora A & a, in peripheriis A B G A, a b g a retinentur, tendunt ad centra S & s. Sint arcus A B, a b, æqualibus temporibus quam minimis deſcripti, & ductis tangentibus A D, a d, & ad eas perpendicularibus B D, b d, completiſque parallelogrammis C D, c d, vires centripetæ in A & a, erunt inter ſe ut rectæ D b, d b, ſeu ut ſinus verſi A C, a c, (174). Verùm

poribus quàm minimis deſcriptorum ſinus verſi per corol. 4. prop. 1. hoc eſt, ut quadrata arcuum eorundem ad diametros circulorum applicata per *lem.* VII. & propterea, cùm hi arcus ſint ut arcus temporibus quibuſvis æqualibus deſcripti, & diametri ſint ut eorum radii; vires erunt ut arcuum quorumvis ſimul deſcriptorum quadrata applicata ad radios circulorum. *Q. E. D.*

Corol. 1. Cum arcus illi ſint ut velocitates corporum, vires centripetæ erunt in ratione compoſitâ ex duplicatâ ratione velocitatum directè, & ratione ſimplici radiorum inversè. (m)

Corol. 2. (n) Et, cum tempora periodica ſint in ratione compoſitâ ex ratione radiorum directè, & ratione velocitatum inversè; (o) vires centripetæ ſunt in ratione compoſitâ ex ratione radiorum directè, & ratione duplicatâ temporum periodicorum inversè.

Corol. 3. (p) Unde ſi tempora periodica æquentur, & prop-

rùm ductis chordis A B, a b, eſt A C : A B = A B : A G, & a c : a b = a b : a g, undè $AC = \frac{AB^2}{AG}$, & $ac = \frac{ab^2}{ag}$; cum igitur chordæ & arcus naſcentes æquales ſint (per *Lem. VII.*) erit A C : a c, hoc eſt, vis centripeta in A, ad vim centripetam in a, ut quadratum arcûs evaneſcentis A B diametro A G diviſum, ad quadratum arcus evaneſcentis, a b, diametro ag, diviſum; & propterea cum hi arcus &c.

(m) 183. Vis centripeta quâ corpus in peripheriâ circuli uniformiter incedens retinetur, eſt in omnibus peripheriæ punctis eadem, ut pote ſemper proportionalis conſtantis velocitatis quadrato ad radium conſtantem applicato.

(n) 184. Tempora periodica, hoc eſt, tempora quibus integræ peripheriæ deſcribuntur, ſunt in ratione compoſitâ ex ratione radiorum directè & ratione velocitatum inversè. Nam (5) velocitates ſunt ut peripheriæ ad tempora periodica applicatæ, ſed peripheriæ ſunt ut radii, ergo velocitates ſunt ut radii ad tempora periodica applicati, ac proindè tempora periodica ſunt ut radii directè & velocitates inversè. Si corporum A & a, tempora periodica dicantur T & t, celeritates C & c, radii A S, a s, dicantur R & r, erit $C : c = \frac{R}{T} : \frac{r}{t}$ ideóque $T : t = \frac{R}{C} : \frac{r}{c}$.

(o) 185. Vires centripetæ ſunt reciprocè ut quadrata temporum periodicorum applicata ad circulorum radios; nam vires centripetæ corporum A & a, dicantur V & v, erit (per coroll. 1.) $V : v = \frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r}$, ſed quoniam (184) $C : c = \frac{R}{T} : \frac{r}{t}$, adeòque $C^2 : c^2 = \frac{R^2}{T^2} : \frac{r^2}{t^2}$ erit $\frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r} = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2}$ ergò $V : v = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2} = t^2 R : T^2 r = \frac{t^2}{r} : \frac{T^2}{R}$.

(p) 186. Undè ſi tempora periodica æquentur & propterea (184) velocitates ſint ut radii, erunt etiam vires centripetæ ut radii, nam cum ſit (185) $V : v = t^2 R : T^2 r$, ſi $T^2 = t^2$, erit $V : v = R : r$.

propterea velocitates ſint ut radii; erunt etiam vires centripetæ ut radii: & contra.

Corol. 4. (q) Si & tempora periodica, & velocitates ſint in ratione ſubduplicatâ radiorum; (r) æquales erunt vires centripetæ inter ſe: & contra.

Corol. 5. (ſ) Si tempora periodica ſint ut radii, & propterea velocitates æquales; vires centripetæ erunt reciprocè ut radii: & contra.

Corol. 6. (t) Si tempora periodica ſint in ratione ſeſquiplicatâ radiorum, & propterea velocitates reciprocè in radiorum ratione ſubduplicatâ; (u) vires centripetæ erunt reciprocè ut quadrata radiorum: & contra.

Corol.

Et contrà ſi vires centripetæ ſint ut radii, tempora periodica æquantur. Cum enim ſit (185) $V:v = t^2 R : T^2 r$, ſi ponatur $V:v = R:r$, erit $R:r = t^2 R : T^2 r$, unde $r t^2 R = R T^2 r$, adeóque $t^2 = T^2$, & $t = T$.

(q) 187. Si tempora periodica ſint in ratione ſubduplicatâ radiorum, velocitates erunt in eâdem ratione. Nam (184) $C:c = \frac{R}{T} : \frac{r}{t}$ adeóque $C^2 : c^2 = \frac{R^2}{T^2} : \frac{r^2}{t^2}$. Undè ſi fuerit $T:t = R^{\frac{1}{2}} : r^{\frac{1}{2}}$ ac proindè $T^2 : t^2 = R:r$, erit $C^2 : c^2 = R:r$.

Et contrà ſi fuerit $C^2 : c^2 = R:r$, erit $\frac{R^2}{T^2} : \frac{r^2}{t^2} = R:r$, adeóque $\frac{R}{T^2} = \frac{r}{t^2}$, & $R t^2 = r T^2$, undè $T^2 : t^2 = R:r$.

(r) 188. Si & tempora periodica ac proindè velocitates (187) ſint in ratione ſubduplicatâ radiorum, æquales erunt vires centripetæ inter ſe. Cum ſit (185) $V:v = t^2 R : T^2 r$, ſi ponatur $T^2 : t^2 = R:r$, erit $t^2 R = T^2 r$, undè $V = v$.

Et contrà ſi $V = v$, cum ſit (185) $V:v = t^2 R : T^2 r$, erit $t^2 R = T^2 r$, & proindè $T^2 : t^2 = R:r$.

(ſ) 189. Si tempora periodica ſunt ut radii & propterea (184) velocitates æquales, vires centripetæ erunt reciprocè ut radii. Quoniam enim (per coroll. 1.) $V:v = \frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r}$, ſi $C^2 = c^2$, erit $V:v = \frac{1}{R} : \frac{1}{r}$.

Et contrà ſi fuerit $V:v = \frac{1}{R} : \frac{1}{r}$, cum ſit (coroll. 1.) $V:v = \frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r}$ erit $\frac{1}{R} : \frac{1}{r} = \frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r}$, adeóque $C^2 = c^2$, & $C = c$.

(t) 190. Si tempora periodica ſint in ratione ſeſquiplicatâ radiorum, erunt velocitates reciprocè in ratione radiorum ſubduplicatâ; nam quoniam (184) $C:c = \frac{R}{T} : \frac{r}{t}$, adeóque $C^2 : c^2 = \frac{R^2}{T^2} : \frac{r^2}{t^2}$ ſi fuerit $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, erit $C^2 : c^2 = \frac{R^2}{R^3} : \frac{r^2}{r^3} = \frac{1}{R} : \frac{1}{r} = r:R$.

Et contrà ſi fuerit $C^2 : c^2 = r:R$, erit $\frac{R^2}{T^2} : \frac{r^2}{t^2} = r:R$, adeóque $\frac{R^3}{T^2} = \frac{r^3}{t^2}$, & $R^3 : r^3 = T^2 : t^2$.

(u) 191. Si tempora periodica ſint in ratione ſeſquiplicatâ radiorum & propterea (190) velocitates reciprocè in radiorum ratione ſubduplicatâ, vires centripetæ erunt reciprocè ut quadrata radiorum. Nam cum ſit (185) $V:v = t^2 R : T^2 r$; ſi fuerit $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, erit $V:v = r^3 R : R^3 r = r^2 : R^2$.

Et contrà ſi $V:v = r^2 : R^2$, erit (185) $r^2 : R^2 = t^2 R : T^2 r$ ac proindè $t^2 R^3 = T^2 r^3$, & $R^3 : r^3 = T^2 : t^2$.

Digitized by Google

Corol. 7. Et univerſaliter, ſi (x) tempus periodicum ſit ut radii R poteſtas quælibet R^n, & propterea velocitas reciprocè ut radii poteſtas R^{n-1}; (y) erit vis centripeta reciprocè ut radii poteſtas R^{2n-1}: & contra.

Corol. 8. (z) Eadem omnia de temporibus, velocitatibus, & viribus, quibus corpora ſimiles figurarum quarumcunque ſimilium, centraque in figuris illis ſimiliter poſita habentium, par-

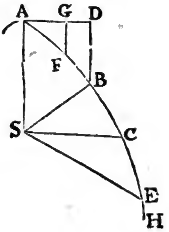
(x) 192. Si tempora periodica ſint ut radiorum poteſtates quælibet R^n, r^n, velocitates erunt reciprocè ut radiorum poteſtates R^{n-1}, r^{n-1}. Nam ponatur $T:t = R^n:r^n$, & quoniam (184) $G:c = \frac{R}{T}:\frac{r}{t}$, erit $C:c = \frac{R}{R^n}:\frac{r}{r^n} = \frac{1}{R^{n-1}}:\frac{1}{r^{n-1}} = r^{n-1}:R^{n-1}$.

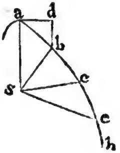
Et contrà ſi fuerit $C:c = r^{n-1}, R^{n-1}$, erit $\frac{R}{T}:\frac{r}{t} = r^{n-1}:R^{n-1}$, adeóque $\frac{R^n}{T} = \frac{r^n}{t}$, undè $R^n:r^n = T:t$.

(y) 193. Et univerſaliter ſi tempora periodica ſint ut radiorum poteſtates quælibet R^n, r^n, & proptereà (192) velocitates reciprocè ut radiorum poteſtates R^{n-1}, r^{n-1}, erunt vires centripetæ reciprocè ut radiorum poteſtates R^{2n-1}, r^{2n-1}. Nam ponatur $T:t = R^n:r^n$, adeóque $T^2:t^2 = R^{2n}:r^{2n}$: & cum ſit (185) $V:v = t^2R:T^2r$, erit $V:v = Rr^{2n}:rR^{2n} = r^{2n-1}:R^{2n-1}$.

Et contrà ſi fuerit $V:v = r^{2n-1}:R^{2n-1}$; cum ſit $V:v = t^2R:T^2r$, erit $r^{2n-1}:R^{2n-1} = t^2R:T^2r$, adeóque $t^2R^{2n} = T^2r^{2n}$, undè $T^2:t^2 = R^{2n}:r^{2n}$ & $T:t = R^n:r^n$.

(z) 194. Corpora A & a, figurarum ſimilium ABH, abh, centra S, s, in figuris illis ſimiliter poſita habentium, partes ſimiles ABE, abc, ità deſcribant ut areæ ASB, ASC &c. asb, asc &c. circà centra S, s, in ſingulis figuris deſcriptæ temporibus quibus deſcribuntur ſint reſpectivè proportionales, & per prop. 11. vires centripetæ ad centra S, s, tendent. Per puncta A & a, in curvis ſimiliter poſita agantur tangentes AD, ad, ſintque arcus minimi, AF, ab, eodem tempore in utraque curvâ deſcripti, & ductis rectis FG, bd, radiis vectoribus AS, as, parallelis, vis centripeta in A, eſt ad vim centripetam in a, ut FG, ad bd, (174). Sumatur autem ar-



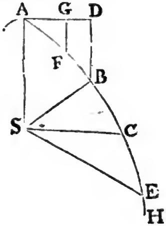


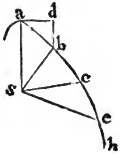
Digitized by Google

partes deſcribunt; conſequuntur ex demonſtratione præcedentium ad hoſce caſus applicatâ. Applicatur autem ſubſtituendo æquabilem arearum deſcriptionem pro æquabili motu, & diſtantias corporum à centris pro radiis uſurpando.

Co-

arcus A B ſimilis a b; (ita ut ſit $as : AS = ab : AB$, ac proinde ſit $AB = \frac{ab \times AS}{as}$) ducaturque B D radio A S parallela, erit per coroll. 1. Lem. XI. $FG : BD = AF^2 : AB^2$, & quia figuræ ABD & a b d, ſunt ſimiles, eſt $BD : bd = AB : ab$, itaque per compoſitionem rationis eſt $FG : bd = AF^2 \times AB : AB^2 \times ab = AF^2 : AB \times ab$ (& quia $AB = \frac{ab \times AS}{as}$) $= AF^2 : \frac{ab \times AS}{as} \times ab = \frac{AF^2}{AS} : \frac{ab^2}{as}$. Cum igitur demonſtratum fuerit vires centripetas in A & a, eſſe inter ſe ut ſunt G F, b d, erunt vires illæ ut quadrata arcuum A F, a b, ſimul deſcriptorum applicata ad radios homologos A S, a s.





195. *Coroll.* 1. Quoniam velocitates finitæ corporum A & a, per arcus naſcentes A F, a b, ſunt uniformes, erunt illæ ut arcus A F, a b, æqualibus temporibus deſcripti (5). Undè vires centripetæ in A, & a, erunt ut velocitatum in A & a, quadrata, ad radios A S, a s applicata.

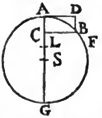
196. *Coroll.* 2. Figuræ ſimiles A S E, a s e, diviſæ concipiantur in innumeros ſectores æquales A S B, B S C &c., & a s b, b s c, &c. ſibi mutuò in duabus figuris ſimiles, & ob æquabilem arearum ſeu ſectorum in ſingulis figuris deſcriptionem, ſectores æquales æqualibus temporibus deſcribentur, ac proindè arcus AB, BC, & arcus a b, b c, &c. æqualibus reſpectivè temporibus percurrentur: erit igitur tempus per A B, ad tempus per a b, ut tempus per A E, ad tempus per a e, hoc eſt, tempora quibus deſcribuntur arcus ſimiles A B, a b, ſunt ut tempora quibus deſcribuntur alii quicumque ſimiles arcus, A E, a e, adeóque ut tempora periodica. Cùm igitur (195) velocitates in A & a, ſint inter ſe ut arcus A B, a b, ad ſua reſpectivè tempora applicati, erunt quoque velocitates illæ inter ſe ut arcus A B, a b, ſeu ob figurarum ſimilitudinem, ut radii A S, a s, ad tempora periodica applicati, id eſt, celeritates in punctis correſpondentibus A & a, ſunt in ratione compoſitâ ex ratione radiorum homologorum directè & ratione temporum periodicorum inversè, adeóque tempora periodica ſunt ut radii directè & velocitates inversè.

197. *Coroll.* 3. Celeritates in A & a, dican-

Digitized by Google

Corol. 9. [a] Ex eâdem demonſtratione conſequitur etiam; quod arcus, quem corpus in circulo datâ vi centripetâ uniformiter revolvendo tempore quovis deſcribit, medius eſt por-

dicantur C, c, vires centripetæ V, v, radii vectores homologi R, r; tempora periodica T, t, & erit (196) $C:c = \frac{R}{T} = \frac{r}{t}$, & $T:t = \frac{R}{C} : \frac{r}{c}$, & $C^2 : c^2 = \frac{R^2}{T^2} : \frac{r^2}{t^2}$. Et quoniam (195) $V:v = \frac{C^2}{R} : \frac{c^2}{r}$, erit $V : v = \frac{R}{T^2} : \frac{r}{t^2} = t^2 R : T^2 r = \frac{t^2}{r} : \frac{T^2}{R}$, hoc eſt, vires centripetæ ſunt reciprocè ut quadrata temporum periodicorum ad radios homologos applicata. Cùm igitur cætera omnia de temporibus, velocitatibus & viribus in circulis corollaria, ex ſuperioribus proportionibus deducta ſint, evidens eſt eadem omnia convenire temporibus, velocitatibus, & viribus, quibus corpora ſimiles figurarum quarumcumque ſimilium, centraque in figuris illis ſimiliter poſita habentium, partes deſcribunt.



(a) 198. Corpus A uniformiter revolvatur in circuli peripheriâ A B G A, & idem vel aliud corpus ex puncto A, per radium A S, eâdem vi centripetâ quâ corpus A in circuli peripheriâ retinetur continuò ità urgeatur ut (vi illâ centripetâ conſtanti permanente, quemadmodum fit in corporibus vi gravitatis conſtante cadentibus) corpus illud cadendo percurrat A L, eodem tempore quo corpus A, uniformiter deſcribit arcum A F. Quoniam vis acceleratrix per radium A S, conſtans eſt & continuò agit (per hyp.) corpus per A S, motu uniformiter accelerato cadit (25) & ſpatia percurſa ſunt ut quadrata temporum quibus percurruntur (27), ducatur per A, tangens A D, & ſumpto arcu minimo A B, in tangentem demittatur perpendicularis B D, & compleatur rectangulum C D, eodem tempore quo corpus A, æquabili motu deſcribit arcum A B, per vim centripetam percurrit D B, ſeu A C, (ex coroll. 3. Prop. 1æ.) erit igitur A C, ad A L, ut quadratum temporis per A B, ad quadratum temporis per A F, hoc eſt, ob motum in circulo æquabilem $AC : AL = AB^2 : AF^2 = \frac{AB^2}{AG} : \frac{AF^2}{AG}$; cum igitur ob arcum naſcentem A B, ſuæ chordæ æqualem, ſit $AC = \frac{AB^2}{AG}$, erit quoquè $AL = \frac{AF^2}{AG}$ atque adeò $AL \times AG = AF^2$ & proindè $AL : AF = AF : AG$.

199. *Coroll.* 1. Velocitas quâ corpus A, peripheriam circuli A F G A, uniformiter deſcribit, æqualis eſt velocitati quam acquireret cadendo per dimidium radium A S, ſi vi centripetâ conſtanti continuò urgeretur æquali illi quâ corpus A in peripheriâ circuli retinetur: Nam ſit A L altitudo per quam A cadere debet ut acquirat velocitatem quâ peripheriâ circuli deſcribitur, ſitque A F arcus eo tempore deſcriptus quo A cadit per A L eodem etiam tempore motu æquabili percurreretur, 2 A L per velocitatem eam in L acquiſitam (30), adeóque erit $AF = 2\,AL$ ſiquidem eodem tempore eademque celeritate æquabili percurruntur, ſed eſt ſemper $AF^2 = AL \times AG$ (198) cum igitur ſit $2\,AL = AF$ ac proinde $4\,AL^2 = AF^2$ erit $4\,AL^2 = AL \times AG$ & $4\,AL = AG$ & $AL = \frac{AG}{4} = \frac{AS}{2}$.

200. *Coroll.* 2. Tempus revolutionis per integram peripheriam eſt ad tempus deſcenſûs uniformiter accelerati per dimidium radium, ut peripheria ad radium. Nam eodem tempore quo dimidius radius motu uniformiter accelerato percurritur, totus radius deſcriberetur cum æquabili velocitate lapſu per dimidium radium acquiſitâ (30) eâ verò ipſa celeritate corpus circuli peripheriam

N 3 (199)

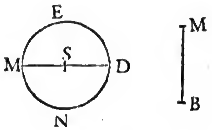
Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.

portionalis inter diametrum circuli, & deſcenſum corporis eâdem data vi eodemque tempore cadendo confectum. *Scho-*

(199) deſcribit. Ergo cum ſpatia eâdem velocitate uniformi percurſa, ſint ut tempora (5) patet propoſitum.

201. *Coroll.* 3. Hinc datâ vi centripetâ quâlibet in datâ à centro diſtantiâ, facile eſt reperire velocitatem quâ corpus projici debet ut circà prædictum centrum in datâ diſtantiâ circulum uniformiter deſcribat; velocitas enim illa æqualis eſt velocitati quam corpus acquireret cadendo per dimidiam diſtantiam à centro, ſi datâ vi centripetâ continuò urgeretur (199). Dato autem circuli radio, datur peripheria, & datâ æquabili in circulo velocitate cum peripheriâ, invenitur tempus periodicum, & arcus dato quovis tempore deſcriptus habetur.



202. *Coroll.* 4. Datis circuli radio & velocitate corporis in eo revolventis, facilè colligitur proportio vis centripetæ in eo circulo ad vim quamlibet notam, qualis eſt vis gravitatis. Primum enim inveniatur tempus revolutionis unius in eo circulo peractæ (5), mox invenietur tempus quo corpus vi illâ centripetâ continuò ſollicitatum per dimidium radium caderet (200). Ex datâ autem vi gravitatis ſeu ex dato ſpatio quod grave liberè cadendo, dato quodam tempore percurrit, invenitur (27) ſpatium ab eodem gravi percurſum eo tempore quo corpus vi centripetâ ſollicitatum per dimidium radium cadit, ſed vires acceleratrices conſtantes, rationem habent ſpatiorum quæ dato tempore percurrere faciunt (30) eſt ergo vis ea centripeta ad vim gravitatis, ut dimidius circuli radius ad ſpatium id quod grave percurreret eo tempore quo corpus vi centripetâ ſollicitatum dimidium illum radium percurrit.

Exempli causâ. Corpus M, ope fili MS clavo in S alligati, circà centrum S. uniformiter deſcribat circulum MNDE, in plano horizontali poſitum, eaque ſit corporis revolventis celeritas quæ acquiritur à gravi per altitudinem MB cadente, quæritur ratio vis centripetæ in circulo ad vim gravitatis. Tempus quo grave cadit per altitudinem MB, dicatur T, & velocitas in B acquiſita, quâ (ex hyp.) corpus M circuli peripheriam uniformiter deſcribit, erit $\frac{2MB}{T}$ (30), peripheria circuli dicatur p, & cum tempus periodicum in circulo ſit æquale peripheriæ ad velocitatem $\frac{2MB}{T}$ applicatæ (5) erit id Tempus Periodicum $\frac{p \times T}{2MB}$; jam verò eſt peripheria ad radium (200) ut tempus Periodicum ad tempus quo corpus M, ſolâ vi centripetâ conſtante ſollicitatum, dimidium radium MS percurrit, ſive $p : MS = \frac{p \times T}{2MB}$ ad tempus per dimidium radium quod eſt ideo $\frac{T \times MS}{2MB}$. Cum autem grave tempore T altitudinem MB ſit emenſum, & in motu uniformiter accelerato ſpatia percurſa ſint ut quadrata temporum quibus percurruntur (27) erit T^2 ad $\frac{T^2 \times MS^2}{4MB^2}$, ſeu $4MB^2$ ad MS^2 ut ſpatium MB tempore T percurſum ad ſpatium percurſum tempore $\frac{T \times MS}{2MB}$, quo corpus, M, vi centripetâ percurrit dimidium radium, quod erit $\frac{MS^2 \times MB}{4MB^2} = \frac{MS^2}{4MB}$ eſt igitur (13) vis centripeta in circulo ad vim gravitatis ut $\frac{MS}{2}$, ad $\frac{MS^2}{4MB}$, ſivè ut $2MB$ ad MS.

Digitized by Google

Scholium.

(b) Caſus corollarii ſexti obtinet in corporibus cœleſtibus, (ut ſeorſum collegerunt etiam noſtrates *Wrennus*, *Hookius* & *Hallæus*) & propterea quæ ſpectant ad vim centripetam decreſcentem in duplicatâ ratione diſtantiarum à centris, decrevi fuſiùs in ſequentibus exponere.

Porro præcedentis propoſitionis & corollariorum ejus beneficio, colligitur etiam proportio vis centripetæ ad vim quamlibet notam, qualis eſt ea gravitatis. Nam ſi corpus in circulo terræ concentrico vi gravitatis ſuæ revolvatur, hæc gravitas eſt ipſius vis centripeta. Datur autem ex deſcenſu gravium, & tempus revolutionis unius, & arcus dato quovis tempore deſcriptus, per hujus corol. IX. Et (c) hujuſmodi propoſitionibus *Hugenius* in eximio ſuo tractatu *de Horologio Oſcillatorio* vim gravitatis cum revolventium viribus centrifugis contulit.

(d) Demonſtrari etiam poſſunt præcedentia in hunc modum. In circulo quovis deſcribi intelligatur polygonum laterum quotcunque. Et ſi corpus in polygoni lateribus datâ cum velocitate

(b) 203. Ex obſervationibus colligunt aſtronomi planetas ſecundarios, ut ſunt Jovis vel Saturni Satellites, radiis ad ſuum planetam primarium ductis, areas deſcribere temporibus proportionales, eorumque tempora periodica eſſe in ratione ſeſquiplicatâ diſtantiarum à centro planetæ primarii; planetas verò primarios radiis ad ſolem ductis, areas deſcribere temporibus proportionales, eorumque tempora periodica eſſe in ratione ſeſquiplicatâ radiorum. Quare caſus corollarii VI. in corporibus cœleſtibus obtinet, id eſt, planetarum velocitates ſunt reciprocè in ratione ſubduplicatâ radiorum, & vires centripetæ ſunt reciprocè ut quadrata radiorum.

(c) 204. *Hugenius* ad calcem tractatûs *de horologio oſcillatorio*, de viribus centrifugis in circulo earumque cum vi gravitatis proportione 13. theoremata ſine demonſtratione propoſuit. Eorum aliqua in corollariis propoſ. hujuſce IV. demonſtravit NEWTONUS, viamque aperuit, cui inſiſtendo cætera omnia facili negotio abſolvi poſſunt, quod poſteà perfecerunt multi inſignes Mathematici.

(d) 205. Duo intelligantur polygona ſimilia & regularia circulis duobus inſcripta, quorum latera numero creſcant & longitudine minuantur in infinitum, & corpora duo in polygonorum lateribus æquabili velocitate ferantur, atque ad ſingulos angulos à circulo reflectantur. Manifeſtum eſt corporum in polygonis revolventium vires centrifugas non eſſe menſurandas ex ſolâ velocitate quâ in ſingulis angulis incurrunt in circulum & quâ ab illo reflectuntur, ſed inſuper habendam eſſe rationem frequentiæ impactuum aut

Digitized by Google

tate movendo ad ejus angulos ſingulos à circulo reflectatur; vis, quâ ſingulis reflexionibus impingit in circulum, erit ut ejus velocitas: ideoque ſumma virium in dato tempore erit ut velocitas illa, & numerus reflexionum conjunctim: hoc eſt (ſi polygonum detur ſpecie) ut longitudo dato illo tempore deſcripta, & aucta vel diminuta in ratione longitudinis ejuſdem ad circuli prædicti radium; id eſt, ut quadratum longitudinis illius applicatum ad radium: ideoque, ſi polygonum lateribus infinitè diminutis coincidat cum circulo, ut quadratum arcus dato tempore deſcripti applicatum ad radium. Hæc eſt vis centrifuga, quâ corpus urget circulum; & huic æqualis eſt vis contraria, quâ circulus continuo repellit corpus centrum verſus.

PRO-

aut reflexionum; ità ut ſi eadem fuerit duorum corporum revolventium celeritas, vires centrifugæ ſint ut numeri impactuum aut reflexionum tempore dato peractarum; nam quò plures ſunt tempore dato impactus & reflexiones, eò magis corpus circulum urget, ut à centro recedat & viceversà eò magis ad centrum urgetur per circuli reactionem æqualem & contrariam actioni. Quare ſi varia fuerit corporum in polygonis revolventium celeritas æquabilis, vires centrifugæ erunt ut velocitates & numeri impactuum ſeu reflexionum tempore dato peractarum conjunctim. Eſt autem numerus reflexionum tempore dato ut numerus laterum polygoni eo tempore deſcriptorum. Porrò ſi eadem ſupponatur in utroque polygono velocitas, numeri laterum eodem tempore deſcriptorum erunt reciprocè ut latera ſingula; quo enim majora ſunt latera, eo minor eorum numerus dato tempore datâque velocitate percurritur; quare manente eâdem in utroque polygono velocitate, numeri reflexionum ſunt inversè ut latera, ſive ob polygonorum ſimilitudinem, inversè ut radii circulorum. Si verò ponatur idem circulorum radius, & varia in utroque polygono velocitas uniformis, erunt numeri laterum in utroque polygono dato tempore percurſorum, directè ut velocitates æquabiles, ſeu, ut longitudines dato tempore deſcriptæ (5). Quare variantibus polygoni velocitate & radio, numerus reflexionum eſt ut velocitas, ſeu ut longitudo tempore dato deſcripta applicata ad radium. Cum igitur ſuprà oſtenſum ſit vim centrifugam in circulo, aut vim centripetam ipſi æqualem & contrariam, eſſe in ratione compoſitâ velocitatis & numeri reflexionum dato tempore peractarum, liquet eandem vim centrifugam eſſe quoque ut quadratum velocitatis radio diviſum, & etiam ut quadratum longitudinis ſeu arcûs dato tempore deſcripti applicatum ad radium.

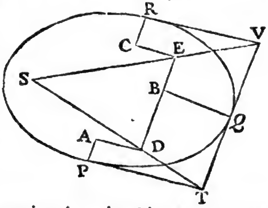
206.

Digitized by Google

PROPOSITIO V. PROBLEMA I.

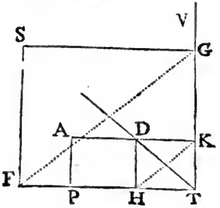
Datâ quibuſcunque in locis velocitate, quâ corpus figuram datam viribus ad commune aliquod centrum tendentibus deſcribit, centrum illud invenire.

Figuram deſcriptam tangant rectæ tres *PT*, *TQV*, *VR* in punctis totidem *P*, *Q*, *R*, concurrentes in *T* & *V*. Ad tangentes erigantur perpendicula *PA*, *QB*, *RC* velocitatibus corporis in punctis illis *P*, *Q*, *R*, à quibus eriguntur, reciprocè proportionalia; id eſt, ita ut ſit *PA* ad *QB* ut velocitas in *Q* ad velocitatem in *P*, & *QB* ad *RC* ut velocitas in *R* ad velocitatem in *Q*. Per perpendiculorum terminos *A*, *B*, *C* ad angulos rectos ducantur *AD*, *DBE*, *EC* concurrentes in *D* & *E*: Et actæ *TD*, *VE* concurrent in centro quæſito *S*.



Nam perpendicula à centro *S* in tangentes *PT*, *QT* demiſſa (*per corol.* 1. *prop.* 1.) ſunt reciprocè ut velocitates corporis in punctis *P* & *Q*; ideoque per conſtructionem ut perpendicula *AP*, *BQ* directè, id eſt ut perpendicula à puncto *D* in tangentes demiſſa. (e) Unde facilè colligitur quòd puncta *S*, *D*, *T* ſunt in unâ rectâ. Et ſimili argumento puncta *S*, *E*, *V* ſunt etiam in unâ rectâ; & propterea centrum *S* in concurſu rectarum *TD*, *VE* verſatur. *Q. E. D.*

(e) 206. Puncta S, D, T, ſunt in unâ rectâ Demiſſis enim ex centro S, in tangentes T V, T F, perpendiculis S G, S F, & ex puncto D, perpendiculis DK, DH, patet angulos F S G, H D K, lineis parallelis contentos eſſe æquales & propter laterum S F, S G, D H, D K, analogiam, triangula F G S, H K D, eſſe ſimilia, adeóque angulos S F G, D H K, æquari, ac proinde lineas F G, H K, eſſe parallelas, & triangula F T G, H T K, ſimilia, erit ergò T H : T F = H K : F G = D H : S F, & T K : T G = H K : F G = D K : SG. Quarè linea T D, producta tranſibit per centrum S.

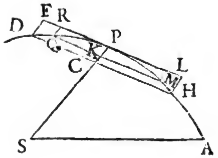


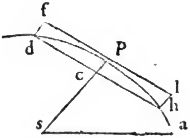
PROPOSITIO VI. THEOREMA V.

Si corpus in ſpatio non reſiſtente circa centrum immobile in orbe quocunque revolvatur, & arcum quemvis jamjam naſcentem tempore quam minimo deſcribat, & ſagitta arcus duci intelligatur, quæ chordam biſecet, & producta tranſeat per centrum virium: erit vis centripeta in medio arcus, ut ſagitta directè & tempus bis inversè.

(f) Nam ſagitta dato tempore eſt ut vis (*per corol.* 4. *prop.* 1.) & augendo tempus in ratione quâvis, ob auctum arcum in eâdem ratione ſagitta augetur in ratione illâ duplicatâ (*per corol.*

(f) 207. Corpora P & p, circà virium centra S & s, revolvendo, curvas A P Q, a p q, deſcribant, ſintque chordæ minimæ D H, d h, radiis vectoribus S P, s p, bifariam diviſæ, & chordis illis evaneſcentibus, erit C H = P H, & D C = D P (*per coroll.* 2. *Lem.* *VII.*) adeóque P H = P D; undè puncta P & p, ſunt in medio arcuum evaneſcéntium D P H, d p h, poſita. Præterea quoniam punctis C & P, c & p, coeuntibus, puncta D & H, d & h, ſimul cum punctis P, p, coincidunt, ultima chordarum evaneſcentium D H, d h, poſitio congruit cum tangentium F L, f l poſitione, ac proindè chordæ evaneſcentes D H, d h, tangentibus F L, f l, æquidiſtant, adeóque rectæ D F, d f, radiis S P, s p, parallelæ ſagittis P C, p c, evaneſcentibus æquales ſint. His, ad clariorem eorum quæ NEWTONUS ſupponit, intelligentiam poſitis, demonſtrandum eſt vires centripetas in P & p, eſſe inter ſe ut ſunt ſagittæ P C, p c, directè, & inversè ut quadrata temporum quibus deſcribuntur arcus evaneſcentes H P D, h p d, aut dimidii P D, p d.... *Dem.*... Si arcus P D, p d, æqualibus temporibus deſcriberentur, ſagittæ P C, p c, (per coroll. 1. Prop. 1.) eſſent ut vires centripetæ in P & p. Quòd ſi vires in P & p, æquales forent, tempora verò per arcus P D, p d, inæqualia, ſint v. gr. ſicut T ad t, dico ſagittas



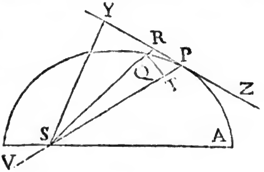


P C, p c, fore ut horum temporum quadrata directè; ſive ut T^2 ad t^2. Sit enim arcus P Q, deſcriptus eodem tempore t quo arcus p d, poſitis viribus in P & p, æqualibus, ſpatia Q R, f d, ſeu P K, p c, virium illarum actione eodem tempore deſcripta erunt æqualia; Verùm (*per cor.* 11.

rol. 2. & 3. lem. XI.) ideoque eſt ut vis ſemel & tempus bis. Subducatur duplicata ratio temporis utrinque, & fiet vis ut ſagitta directè & tempus bis inverſè. *Q. E. D.*

(g) Idem facilè demonſtratur etiam per corol. 4. lem. X.

Corol. 1. Si corpus *P* revolvendo circa centrum *S* deſcribat lineam curvam *APQ*; tangat verò recta *ZPR* curvam illam in puncto quovis *P*, & ad tangentem ab alio quovis curvæ puncto *Q* agatur *QR* diſtantiæ *SP* parallela, ac demittatur *QT* perpendicularis ad diſtantiam illam *SP*: vis centripeta erit reciprocè ut ſolidum $\frac{SP\ quad. \times QT\ quad.}{QR}$; ſi modo ſolidi illius ea ſemper ſumatur quantitas, quæ ultimo fit, ubi coeunt puncta *P* & *Q*. (h) Nam *QR* æqualis eſt ſagittæ dupli arcus *QP*, in cujus medio eſt *P*, & duplum trianguli *SQP* ſive *SP* × *QT*, tempori, quo arcus iſte duplus deſcribitur, proportionale eſt; ideoque pro temporis exponente ſcribi poteſt.



Co-

II. & III. Lem. XI.) $PD^2 : PQ^2 = DF : QR$ ſive fd, & ob motum per arcus evaneſcentes uniformem, ſunt arcus PD, PQ ut tempora quibus deſcribuntur, hoc eſt ut T ad t, ideoque $PD^2 : PQ^2 = T^2 : t^2 = DF : QR$ ſive fd, & quia $DF = PC$ & $df = pc$ ergo $T^2 : t^2 = PC : pc$, itaque ſi vires in P & p ſint æquales, erunt ſagittæ PC, pc, ut quadrata temporum quibus arcus PD, pd, deſcribuntur. Quoniam igitur manentibus temporibus ſagittæ ſunt ut vires, & manentibus viribus, ſagittæ ſunt ut temporum quadrata, neceſſum eſt ut variantibus viribus atque temporibus ſagittæ ſint ut vires & quadrata temporum conjunctim. Quamobrem ſi vires in P & p, dicantur V, v, erit $PC : pc = V \times T^2 : v \times t^2$, & dividendo antecedentes per T^2, & conſequentes per t^2, erit $V : v = \frac{PC}{T^2} : \frac{pc}{t^2}$. Q. e. D.

(g) 208. Idem facilè demonſtratur etiam *per coroll.* IV. *Lem.* X. quo ſtatuitur vires eſſe ut ſpatia, ipſo motus initio, deſcripta directè & quadrata temporum inverſè: Cum enim FD, fd, ſeu ſagittæ PC, pc, ſint ſpatia ex virium centripetarum actione deſcripta iiſdem temporibus quibus percurruntur arcus evaneſcentes PD, pd, patet per ſuprà dictum coroll. vires centripetas eſſe inter ſe in ratione compoſitâ ex directâ ratione ſagittarum PC, pd, & reciprocâ quadratorum temporum quibus deſcribuntur arcus evaneſcentes PD, pd, ſeu HD, hd.

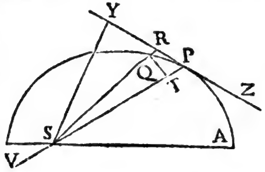
(h) 209. Nam QR æqualis eſt ſagittæ dupli arcus QP, in cujus medio eſt P, (207), duplum verò trianguli evaneſcentis SQP, (quod per *Lem.* VIII., tanquam rectilineum conſiderari poteſt) æquale eſt facto ex perpendiculo QT, in ba-

 ſim

Digitized by Google

Corol. 2. Eodem argumento vis centripeta eſt reciprocè ut ſolidum $\frac{SYq \times QPq}{QR}$, ſi modò SY perpendiculum ſit à centro virium in orbis tangentem PR demiſſum. (i) Nam rectangula $SY \times QP$ & $SP \times QT$ æquantur.

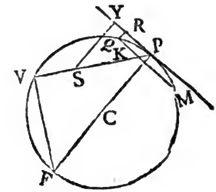
Corol. 3. Si orbis vel circulus eſt, vel circulum concentricè tangit, aut concentricè ſecat, id eſt angulum contactus aut ſectionis cum circulo quam minimum continet; eandem habens curvaturam eundemque radium curvaturæ ad punctum P; & ſi PV chorda ſit circuli hujus à corpore per centrum virium acta: erit vis centripeta reciprocè ut ſolidum $SYq \times PV$. (k) Nam PV eſt $\frac{QPq}{QR}$.



ſim SP; cum igitur in eâdem curvâ APQ, arcæ ſint proportionales temporibus quibus deſcribuntur, ac proindè rectangulum Q T x S P, ſcribi poſſit loco temporis quo duplus arcus QP, ſeu duplum triangulum SQP, deſcribitur, erit vis centripeta in P, directè ut $\frac{QR}{SP^2 \times QT^2}$ & inversè ut $\frac{SP^2 \times QT^2}{QR}$.

(i) 210. Rectangula $SY \times QP$, & $SP \times QT$, æquantur; nam tangens PR, cum arcu evaneſcente QP, congruit (*per Lem.* VII) & propterea tangens illa conſiderari poteſt tanquam trianguli SPQ, baſis PQ, producta, & SY, tanquam perpendicularis ad illam baſim productam, quarè area dupli trianguli SPQ, eſt $SY \times QP = SP \times QT$.

(k) 211. PV eſt $\frac{QP^2}{QR}$. Sit enim circulus oſculator PQVF, & ductâ chordâ QM, quam alia chorda PV, per virium centrum S acta, biſecat in K, erit (*per prop.* 35. *lib.* 3. *Elem.*) $QK^2 = VK \times PK$; ſed evaneſcente PK, $VK = VP$, & (207) $QR = PK$, ac (*per coroll.* 1. *Lem.* VII) $QK = QP$, ergò $QP^2 = PV \times QR$, & $PV = \frac{QP^2}{QR}$.



Digitized by Google

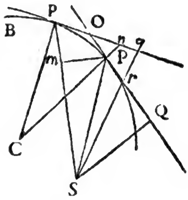
Corol. 4. Iiſdem poſitis, eſt vis centripeta ut velocitas bis directè, & chorda illa inverſè. Nam velocitas eſt reciprocè ut perpendiculum *SY per corol.* 1. *prop.* 1.

Corol. 5. Hinc ſi detur figura quævis curvilinea *APQ*, & in ea detur etiam punctum *S*, ad quod vis centripeta perpetuo dirigitur, inveniri poteſt lex vis centripetæ, quâ corpus quodvis *P* à curſu rectilineo perpetuo retractum in figuræ illius perimetro detinebitur, eamque revolvendo deſcribet. Nimirum computandum eſt vel ſolidum $\frac{SPq \times QTq}{QR}$ vel ſolidum $SYq \times PV$ huic vi reciprocè proportionale. Ejus rei dabimus exempla in problematis ſequentibus.

212. Iiſdem poſitis ſit PC, radius oſculi $= R$, & erit vis centripeta in P, reciprocè ut ſolidum $\frac{SY^3 \times R}{SP}$: quoniam enim rectæ SY, & FCP, ad tangentem PY, perpendiculares æquidiſtant, erit angulus $VPF = PSY$; cumque ſit prætereà angulus FVP, in ſemicirculo æqualis recto SYP, duo triangula PVF, SYP, ſimilia ſunt, ac proinde $SP : SY = PF$ ſeu $2R : PV$, adeóque $PV = \frac{SY \times 2R}{SP}$ & $SY^2 \times PV = \frac{SY^3 \times 2R}{SP}$; hoc eſt dividendo per numerum conſtantem 2, ut $\frac{SY^3 \times R}{SP}$. Hæc eſt expreſſio vis centripetæ quam *Joannes Bernoullius*, *Abrahamus de Moivre* & *Guido Grandus* invenerunt.

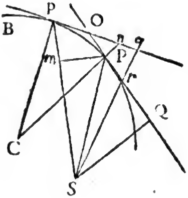
SCHOLION.

213. NEWTONUS generalem virium centralium theoriam in ſuperioribus propoſitionibus aperuit, earumque elegantes formulas in propoſitionis vi^{ae} corollariis tradidit. Plurimas per analyſim methodumque fluxionum poſteà exquiſierunt alii qui primum inter Geometras locum tenebant. Hos inter eminet *Varignonius* qui in Commentariis Pariſienſibus an. 1700, 1701, 1706, virium centralium formulas ſuâ varietate & univerſalitate eximias dedit; præclaras quoque addidit *Joannes Bernoullius* in iiſdem Commentariis an. 1710. Duas propoſuit *Jacobus Hermannus* in ſcholio ad propoſitionem 22^{am} Lib. 1. *Phoronomiæ*, quas ut pote multum expeditas, nobiſque in poſterum profuturas, & ex ſuperioribus NEWTONI formulis facillimè deducendas, hic exſcribemus ac demonſtrabimus.



214. Itaque corpus P, circà centrum virium S revolvendo deſcribat curvam BpP, & centro C radio CP deſcriptus intelligatur arcus infiniteſimus Pp circuli curvam BpP oſculantis in P, ac centro S radio SP, arculus Pm, & denique SQ, Sq, ad

De Motu Corporum. Liber Primus.



ad tangentes P Q, p q, perpendiculares. Duo Triangula q O r, n C p, ſeu P C p ſimilia ſunt, nam æquales ſunt anguli r q O, C p n, ſunt enim ambo recti, & anguli r O q, P C p, qui cum angulo P O p duos rectos efficiunt. Similia quoque ſunt Triangula p m P, p q ſ, ſeu P Q S, ob Angulos ad q &. m rectos & angulum m p P communem, dum coeunt puncta P, p, quare p P : r q = P C : O q, ſeu p q, ſeu P Q; & m p : P p = P Q : S P unde ex æquo m p : r q = P C ad S P & P C $= \frac{SP \times mp}{rq}$. Porrò (212) vis centripeta in P eſt ut $\frac{SP}{PC \times SQ^3}$; ergò ſi ſubſtituatur valor ipſius P C, modò inventus, erit vis ut $\frac{rq}{SQ^3 \times mp}$, hoc eſt, ſi vis centripeta ſit $= v$, $SP = z$, ac proindè $mp = dz$, $SQ = p$, adeóque $rq = dp$, erit $v = \frac{dp}{p^3 dz}$, & radius oſculi $CP = r = \frac{z\,dz}{dp}$, quas duas formulas tradunt *Keillius* in ſuâ *de legibus virium centripetarum epiſtolâ* ad *Halleium* directâ, & *Hermannus* loco ſuprà citato.

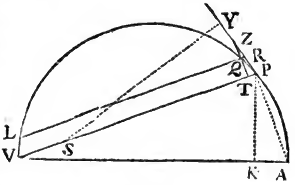
215. Sit $Pp = ds$, & $Pm = dy$, & ob triangula ſimilia p P m, P S Q, erit $ds : dy = z : p$, adeóque $p = \frac{z\,dy}{ds}$, & ſumptis utrinque fluxionibus nullâ conſtante uſurpatâ, invenietur (163) $dp = \frac{dz\,dy\,ds + z\,ds\,ddy - z\,dy\,dds}{ds^2}$; quarè $v = \frac{dp}{p^3 dz} = \frac{dp\,ds^3}{z^3 dy^3 dz}$ ob $p, = \frac{z\,dy}{ds}$ & $p^3 = \frac{z^3 dy^3}{ds^3}$, adeóque $v = \frac{dz\,dy\,ds^2 + z\,ds^2\,ddy - z\,dy\,ds\,dds}{z^3 dy^3 dz}$, quæ formula nonniſi nominibus differt à formulis quas *Varignonius* dedit in Commentariis Pariſienſibus, 1701. 1706.

216. Hinc radiorum oſculi formula admodum generalis & expedita facile reperitur. Nam invenimus (214) $r = \frac{z\,dz}{dp} = (215)\ \frac{z\,dz\,ds^2}{dz\,dy\,ds + z\,ds\,ddy - z\,dy\,dds}$ cùm in hâc formulâ nulla fluxio conſtans aſſumpta ſit, in alias infinitas transformari poteſt, ſumptis pro arbitrio conſtantibus. Si centrum S, in infinitum abeat, ut rectæ S P, evadant parallelæ, erit $dz\,dy\,ds$, quantitas infinitè parva reſpectu $z\,ds\,ddy$ & $z\,dy\,dds$; nam cum z finita eſt $dz\,dy\,ds$, eſt ejuſdem generis cum $z\,ds\,ddy$; ubi igitur z, evadit infinita $z\,ds\,ddy$, fit etiam infinita reſpectu $dz\,dy\,ds$; undè ſi in formulâ radii oſculatoris modò inventâ deleatur membrum $dz\,dy\,ds$, habebitur $r = \frac{ds^2\,dz}{ds\,ddy - dy\,dds}$ formula generalis radii oſculi in curvis quarum ordinatæ S P parallelæ axique perpendiculares ſunt, & in quibus dz, ſunt elementa abſciſſarum.

PRO-

PROPOSITIO VII. PROBLEMA II.

Gyretur corpus in circumferentiâ circuli, requiritur lex vis centripetæ tendentis ad punctum quodcunque datum.



Eſto circuli circumferentia *VQPA*; punctum datum, ad quod vis ceu ad centrum ſuum tendit, *S*; corpus in circumferentiâ latum *P*; locus proximus, in quem movebitur *Q*; & circuli tangens ad locum priorem *PRZ*. Per punctum *S* ducatur chorda *PV*; & actâ circuli diametro *VA*, jungatur *AP*; & ad *SP* demittatur perpendiculum *QT*, quod productum occurrat tangenti *PR* in *Z*, ac denique per punctum *Q* agatur *LR*, quæ ipſi *SP* parallela ſit, & occurrat tum circulo in *L*, tum tangenti *PZ* in *R*. Et ([1]) ob ſimilia triangula *ZQR*, *ZTP*, *VPA*; erit *RP quad.* hoc eſt *QRL* ad *QT quad.* ut *AV quad.* ad *PV quad.* Ideoque $\frac{QRL \times PV\ quad.}{AV\ quad.}$ æquatur *QT quad.* Ducantur hæc æqualia in $\frac{SP\ quad.}{QR}$, & punctis *P* & *Q* coeuntibus ſcribatur *PV* pro *RL*. Sic fiet $\frac{SP\ quad. \times PV\ cub.}{AV\ quad.}$ æquale $\frac{SP\ quad. \times QT\ quad.}{QR}$. Ergo (per corol. 1. & 5. prop. VI.) vis centripeta eſt reciprocè ut $\frac{SPq \times PV\ cub.}{AV\ quad.}$; id eſt (ob datum *AV quad.*) reciprocè ut quadratum diſtantiæ ſeu altitudinis *SP* & cubus chordæ *PV* conjunctim. *Q. E. I.*

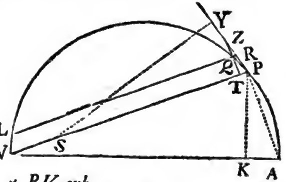
Idem

([1]) 217. Triangula ZQR, ZTP, ſimilia ſunt ob QR, parallelam TP, per conſtructionem, & triangula ZTP, VPA, ſunt etiam ſimilia ob angulos rectes ZTP, VPA, & æquales VPZ, VAP, quorum communis eſt menſura dimidius arcus VL, QP; quarè RP : QT = ZP : ZT = AV : PV. Eſt autem RP q = QR × RL, *per prop. 36. lib. 3. Elem.* 113.

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.

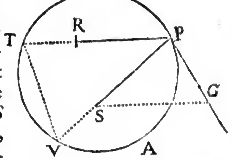
Idem aliter.



Ad tangentem *PR* productam demittatur perpendiculum *SY*: ob ſimilia triangula *SYP*, *VPA*; erit *AV* ad *PV* ut *SP* ad *SY*: ideoque $\frac{SP \times PV}{AV}$ æquale *SY*, & $\frac{SP\ quad. \times PV\ cub.}{AV.\ quad.}$ æquale *SY quad.* × *PV*. Et propterea (per corol. 3. & 5. prop. VI.) vis centripeta eſt reciprocè ut $\frac{SPq \times PV\ cub.}{AVq}$, hoc eſt, ob datam *AV* reciprocè ut *SPq* × *PV cub.* *Q. E. I.*

Corol. 1. Hinc ſi punctum datum *S*, ad quod vis centripeta ſemper tendit, locetur in circumferentiâ hujus circuli, puta ad *V*; erit vis centripeta reciprocè ut quadrato-cubus altitudinis *SP*.

Corol. 2. Vis, quâ corpus *P* in circulo *APTV* circum virium centrum *S* revolvitur, eſt ad vim, qua corpus idem *P* in eodem circulo & eodem tempore periodico circum aliud quodvis virium centrum *R* revolvi poteſt, ut *RP quad.* × *SP* ad cubum rectæ *SG*, quæ à primo virium centro *S* ad orbis tangentem *PG* ducitur, & diſtantiæ corporis à ſecundo virium centro parallela eſt.



Nam

218. Idem aliter, cum ſit $\frac{SP \times PV}{AV} = SY$ erit $\frac{SP^3 \times PV^3}{AV^3} = SY^3$ & $\frac{SP^3 \times PV^3 \times R}{AV^3 \times SP} = \frac{SP^2 \times PV^3 \times R}{AV^3} = \frac{SY^3 \times R}{SP}$ & propterea (212) vis centripeta eſt reciprocè ut $\frac{SP^2 \times PV^3 \times R}{AV^3}$, ſeu ob $R = \frac{1}{2} AV$, & AV, conſtantem erit reciprocè ut $SP^2 \times PV^3$.

(m) Nam per conſtructionem hujus propoſitionis vis prior eſt ad vim poſteriorem ut $RPq \times PT\,cub.$ ad $SPq \times PV\,cub.$ id eſt, ut $SP \times RPq$ ad $\frac{SP\,cub. \times PV\,cub.}{PT\,cub.}$, ſive ([n]) ob ſimilia triangula PSG, TPV) ad $SG\,cub.$

Corol. 3. Vis, quâ corpus P in orbe quocunque circum virium centrum S revolvitur, eſt ad vim, quâ corpus idem P in eodem orbe eodemque tempore periodico circum aliud quodvis virium centrum R revolvi poteſt, ut $SP \times RPq$, contentum utique ſub diſtantiâ corporis à primo virium centro S & quadrato diſtantiæ ejus à ſecundo virium centro R, ad cubum rectæ SG, quæ à primo virium centro S ad orbis tangentem PG ducitur, & corporis à ſecúndo virium centro diſtantiæ RP parallela eſt. (o) Nam vires in hoc orbe ad ejus punctum quodvis P eædem ſunt ac in circulo ejuſdem curvaturæ. PRO-

(m) 219. *Nam per conſtructionem hujus propoſ. vis prior eſt ad vim poſteriorem*, (hoc eſt vis circà S, ad vim circà R) *ut* $RP^2 \times PT^3$ *ad* $SP^2 \times PV^3$. Scilicet in demonſtratione hujus propoſitionis (*vid. fig. Prop.* (inventum erat $\frac{QRL \times PV^2}{AV^2} = QT^2$, & punctis P & Q coëuntibus ſcribatur PV pro RL, & uterque terminus multiplicetur per $SP^2 \times AV^2$ erit $QR \times PV^3 \times SP^2 = QT^2 \times SP^2 \times AV^2$, eſt verò $QT \times SP$ area cujus arcus eſt QP, & QR, eſt ejus ſagitta, itaque ſagitta per cubum chordæ, & quadratum diſtantiæ multiplicata, æqualis eſt quadrato areæ cui reſpondet, multiplicato per quadratum Diametri. Quod utique verum erit ſive agatur de vi ad S, ſive de vi ad R tendente (*vid. fig. Cor.*) Quod ſi ſumi intelligantur arcus æquali tempore deſcripti circa utramque vim, ſagittæ eorum arcuum exprimunt rationem earum virium centripetarum; & areæ illis temporibus æqualibus circa utramque vim deſcriptæ æquales erunt, nam *per Prop.* 1. tempus Periodicum eſt ad integram ſuperficiem deſcriptam, ut tempus quodvis ad aream ipſi reſpondentem, ut ergo eodem tempore Periodico idem circulus circa utramque vim abſolvitur, quæriturque area eidem tempori correſpondens, illa area eadem erit utriuſque vis reſpectu, ideoque productum quadrati areæ per quadratum Diametri idem erit tam reſpectu vis S, quam reſpectu vis R, ergo ſagitta pertinens ad vim S multiplicata per cubum ejus chordæ PV, & quadratum ejus diſtantiæ SP æqualis erit ſagittæ pertinenti ad vim R, multiplicatæ per cubum ejus chordæ PT & per quadratum ejus diſtantiæ RP, ea enim facta, quadrato areæ in quadratum Diametri ducto æqualia ſunt, ideo Sagittæ illæ, ſive vires in S & R erunt reciprocè ut illæ quantitates quæ eas multiplicant, hoc eſt Sagitta in S eſt ad Sagittam in R ſicut $RP^2 \times PT^3 : SP^2 \times PV^3$. Q. E. D.

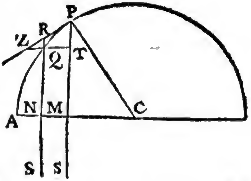
(n) 220. Triangula PSG, TPV, ſimilia ſunt, ob angulos PSG, SPT æquales, quia ſunt alterni inter parallelas SG, TP, & angulos VPG, VTP, æquales per 32. lib. 3. Elem. undè $TP : PV = SP : SG = \frac{SP \times PV}{TP}$ & $SG^3 = \frac{SP^3 \times PV^3}{PT^3}$

(o) 221. Nam vires in hoc orbe ad ejus punctum quodvis P, eædem ſunt ac in circulo orbitam oſculante in P, vis enim illa in P, eſt ſemper eadem ac ſi corpus in arcu evaneſcente circuli oſculatoris moveretur, cum arcus ille circuli pro arcu orbitæ evaneſcente uſurpari poſſit.

Digitized by Google

PROPOSITIO VIII. PROBLEMA III.

Moveatur corpus in ſemicirculo P Q A *: ad hunc effectum requiritur lex vis centripetæ tendentis ad punctum adeo longinquum* S, *ut lineæ omnes* P S, R S *ad id ductæ, pro parallelis haberi poſſint.*



A ſemicirculi centro C agatur ſemidiameter CA parallelas iſtas perpendiculariter ſecans in M & N, & jungatur CP. Ob (p) ſimilia triangula CPM, PZT & RZQ eſt CPq ad PMq ut PRq ad QTq, & ex naturâ circuli PRq æquale eſt rectangulo $QR \times \overline{RN + QN}$, ſive coeuntibus punctis P & Q rectangulo $QR \times 2\,PM$. Ergo eſt CPq ad PM *quad.* ut $QR \times 2\,PM$ ad QT *quad.* ideoque $\frac{QT\ quad.}{QR}$ æquale $\frac{2\,PM\ cub.}{CP\ quad.}$, & $\frac{QT\ quad. \times SP\ quad.}{QR}$ æquale $\frac{2\,PM\ cub. \times SP\ quad.}{CP\ quad.}$ Eſt ergo (*per corollarium* 1. & 5. *prop.* VI.) vis centripeta reciprocè ut $\frac{2\,PM\ cub. \times SP\ quad.}{CP\ quad.}$, hoc eſt (neglectâ ratione determinatâ $\frac{2\,SP\ quad.}{CP\ quad.}$) reciprocè ut PM *cub.* *Q. E. I.*

(q) Idem facilè colligitur etiam ex propoſitione præcedente.

Scho-

(p) 222. Similia ſunt triangula CPM, PZT, anguli enim ad M & T recti æquales ſunt, & quoniam anguli ZPT + MPC, & anguli MPC + MCP, recto æquantur, erit etiam MCP = ZPT; & $PR^2 = QR \times \overline{RN + QN}$ (*per Prop.* 36. *lib.* 3. *Elem.*) Cum autem CP ſit radius circuli & SP ſit linea infinita adeòque SM = SP, erunt CP, SP, $\frac{2\,SP^2}{CP^2}$, quantitates conſtantes.

(q) 223. *Idem facilè colligitur ex propoſitione præcedente* quâ conſtat vim centripetam eſſe reciprocè ut $SP^2 \times PV^3$. Nam centro virium S in infinitum abeunte, omnes SP ſunt æquales adeóque conſtantes, & proptereà vis reciprocè ut PV^3.

Digitized by Google

Scholium.

(r) Et argumento haud multum diſſimili corpus invenietur moveri in ellipſi, vel etiam in hyperbolâ vel parabolâ, vi centripetâ, quæ ſit reciprocè ut cubus ordinatim applicatæ ad centrum virium maxime longinquum tendentis.

(r) 224. Ut multa de ſectionibus Conicis mox erunt dicenda, viſum eſt eas præmittere ex Conicis propoſitiones quæ ſæpius occurrent, ne memoriæ vitio aut faſtidio ad alios Autores recurrendi demonſtrationum vis Lectores fugiat.

Def. 1°. Si Planum quodpiam ſecet conum, ſed per ejus Verticem non tranſeat, interſectio Coni & iſtius Plani dicitur *Sectio Conica.*

2°. Si ducatur planum per Verticem Coni, parallelum plano ſecanti, conum ipſum vel ſecabit, vel tanget, vel totum erit extra eum; Hinc diſtinguuntur ſectionum Conicarum ſpecies, dicentur primo caſu *Hyperbolæ*, 2°. *Parabolæ*, 3°. *Ellipſes.*

3°. Si ſint duo Coni ſimiles ſibi per Verticem oppoſiti, illud planum verticale quod unum è Conis ſecat, alterum etiam ſecabit, ideo, planum ſectionis ipſi Parallelum utrumque etiam Conum ſecabit, & ex utriuſque Coni ſectione formabuntur in eo Plano duæ *Hyperbolæ oppoſitæ.*

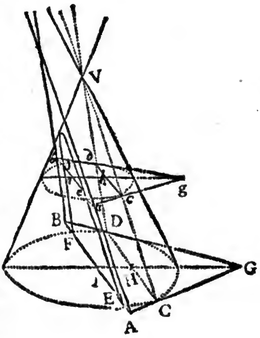
4°. Si ſecundùm lineas rectas in quibus planum per Verticem Coni ductum ſecat Coni ſuperficiem, applicentur duo plana Conum tangentia; eorum cum plano Hyperbolarum interſectiones, dicuntur Hyperbolarum *Aſymptoti*; nam ut ea plana ſuperficiem Coni jam tetigerunt, nullibi eam ſuperficiem iterum attingent, non ergo attingent Hyperbolam quæ terminatur in ſuperficie Coni & quæ eſt in plano lineis quas tangunt parallelo.

Lemma I. Sit linea ab unâ Aſymptoto ad alteram ducta, quæ per Hyperbolam ſecetur, partes ejus lineæ inter Hyperbolam & Aſymptotum utrinque contentæ ſunt æquales.

Et ſi lineæ, inter ſe Parallelæ, ab unâ Aſymptoto ad alteram ducantur, æqualia erunt facta partium utriuſque Parallelæ per Hyperbolam ſectæ.

Si verò lineâ ab unâ Hyperbolâ ad oppoſitam ductâ per Aſymptotos ſecetur, partes ejus lineæ inter Hyperbolam & Aſymptotum utrinque contentæ ſunt æquales.

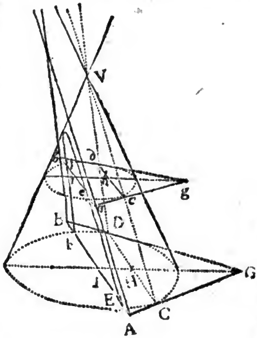
Et ſi lineæ, inter ſe Parallelæ, ab unâ Hyperbolâ ad oppoſitam ducantur, æqualia erunt facta partium utriuſque Parallelæ per Aſymptotum ſectæ (*Apoll. lib.* 2. *Prop.* 8. & 16.)



Demonſt. Primum talis ſit linea AB ut planum per eam lineam duci poſſit baſi coni parallelum, cujus ſectio cum cono erit circulus CEFD, ducatur planum VCD per verticem Coni VCD plano Hyperbolarum parallelum & ſecundum lineas V C, V D applicentur plana Conum tangentia, in quibus erunt Hyperbolæ Aſymptoti & Tangentes circuli

Digitized by Google

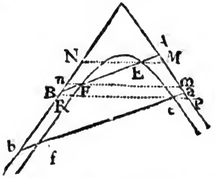
DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.



CEFD in punctis C & D: concurrant illæ Tangentes in G; ex G per centrum circuli ducatur linea GHI quæ erit perpendicularis in chordam CD eamque bifariam ſecabit, ut etiam ejus Parallelam AB, & chordam EF (per 3. 3. Elem.) eſt ergo IA = IB, & IE = IF unde IA − IE ſive AE = IB − IF ſive BF & (per 36. 3. Elem.) $\overline{CA}^2 = AF \times AE = AF \times BF$.

Sit verò linea ab huic Parallela, ſive in eâdem ſive in oppoſitâ ſectione; ſimili ratiocinio oſtendetur eſſe ae = bf; & $\overline{ca}^2 = af \times ae = af \times bf$. Sed figura ACac eſt Parallelogramma, eſt enim tota in plano Tangente Conum, & terminatur per ſectiones planorum Parallelorum, nam Cc & Aa ſunt ſectiones plani Verticalis & plani Hyperbolarum ipſi Paralleli, & CA & ca ſunt ſectiones planorum baſi coni Parallelorum; eſt ergo CA = ca & $\overline{CA}^2 = \overline{ca}^2$, ac per conſequens AF × BF = af × bf.

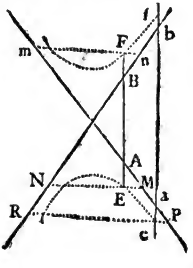
Caſus 2dus. Quòd ſi linea AB utcumque ſit ducta inter Aſymptotos, & Hyperbolam ſecet in E & F erit AE = BF; nam per E & F ducantur lineæ MEN, mFn, tales ut plana per eas ducta ſint baſi Coni parallela. Triangula AEM & AFm, BFn & BEN erunt ſimilia propter Parallelas, eſt ergo AE : AF = EM : Fm



& BE : BF = NE : nF; eſt ergo per compoſitionem rationis.. AE × BE : AF × BF = EM × NE : Fm × nF, ſed per demonſtrationem primi caſûs eſt EM × NE = Fm × nF, ergo AE × BE = AF × BF, unde (per Prop. 16. 6. Elem.) AF : AE = BE : BF & dividendo AF − AE ſive EF : AE = BE − BF ſive EF : BF, cum ergo ſit EF : AE = EF : BF eſt AE = BF.

Ducatur verò linea quævis ab, priori AB parallela, & per punctum e ducatur linea PeR lineæ MEN parallela, ſimilia erunt Triangula AEM & aeP, BEN & beR ob parallelas, eſt ergo AE : ae = EM : eP & BE : be = EN : eR, eſt ergo per compoſitionem rationis... AE × BE : ae × be = EM × EN : EP × eR, ſed per caſum primum eſt EM × EN = eP × eR, ergo AE × BE = ae × be.

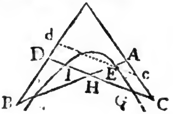
Caſus 3us. Si lineæ de quibus agitur,



all

ab unâ Hyperbolâ ad ejus oppoſitam ducerentur & per Aſymptotas ſecarentur, eadem prorſus foret demonſtratio ac in 2°. caſu, niſi quod in primâ demonſtrationis parte, componendo concluderetur, non dividendo.

Lemma II. Sint duæ lineæ in Hyperbolarum plano ductæ, quæ in quodam puncto ſibi occurrant; facta partium ſingulæ lineæ ſumptarum à puncto concurſus uſque ad punctum Hyperbolæ, ſunt inter ſe ſicut facta partium ſumptarum ab Hyperbolâ uſque ad utramque Aſymptotum.



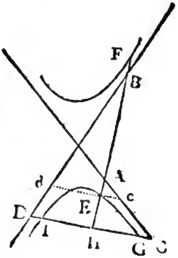
Lineæ A B, D C ſibi mutuo occurrant in H, eſt $EH \times FH : GH \times IH = AE \times BE : CG \times DG$.

Demonſtr... Ducatur per punctum E Hyperbolæ, in quo ſecatur per lineam A B productam ſi neceſſe ſit, linea c E d, alteri lineæ datæ C H D Parallela: ſimilia erunt Triangula A H C & A E c, B H D & B E D: unde habebuntur hæ proportiones

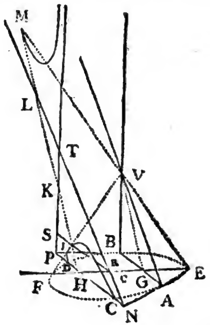
A H ſive $AE + EH : AE = HC$ ſive $CG + GH : cE$

& B H ſive $BF + FH : BE = HD$ ſive $DI + IH : dE$, & per compoſitionem rationis $AE \times BF + AE \times FH + EH \times BF$ (ſive A E per *Lem.* I.) $+ EH \times FH : AE \times BE = CG \times DI + CG \times IH + GH \times DI$ (ſive C G per *Lem.* I.) $+ GH \times IH : cE \times dE$ (ſive $CG \times DG$ per *Lem.* I.) eſt verò $BF + FH + HE = BE$, & $DI + IH + HG = DG$ ergo eſt $AE \times BE + EH \times FH : AE \times BE = DG \times CG + GH \times IH : CG \times DG$. & dividendo: $EH \times FH : AE \times BE = GH \times IH : CG \times DG$ ergo alternando $EH \times FH : GH \times JH = AE \times BE : CG \times DG$.

Eadem eſt demonſtratio ſive lineæ ſint in eadem Hyperbola, ſive, una ſit in unâ Hyperbolâ altera inter oppoſitas, ſive ambæ inter oppoſitas ducantur. Ergo facta partium &c.



Lemma III. Sint duæ Parallelæ in ſectione Conicâ ductæ quæ ſecentur per lineam quamvis, facta partium uniuſcujuſque Parallelæ ſumptarum à curvâ ad punctum ejus interſectionis, ſunt inter ſe ut facta partium lineæ ſecantis ſumptarum à curvâ ad punctum interſectionis cum Parallelâ.



Sint A B, C Γ, parallelæ ſectæ per lineam E F in punctis G & H, eſt $AG \times GB : CH \times HD = EG \times GF : EH \times HF$.

Sit V, vertex coni, ex eo ducantur V E, V F ad extremitates lineæ E F; ducatur in B A, planum V A B, per verticem coni tranſiens & in C D planum Hyperbolarum ipſi Parallelum, in plano V B A ducatur VG, & in H, H M ipſi VG parallela quæ jacebit in plano Hyperbolarum: erunt ergo Triangula VGE & MHE, VGF & IHF ſimilia unde habentur hæ proportiones

$$VG : MH = EG : EH$$

$$\& \; VG : IH = FG, \; FH,$$ & per compoſitionem rationis

$$\overline{VG}^2 : MH \times IH = EG \times GF : EH \times FH.$$

Lineæ VE, VF ductæ per verticem coni & punctum in ejus ſuperficie ſumptum ſunt ſemper in ſuperficie coni, ergo earum interſectiones I & M cum lineâ H M in plano Hyperbolarum ductâ ſunt in ipſâ curvâ Hyperbolicâ cujus Aſymptoti ſint T N, T P parallelæ lineis V A, V B; per punctum I in quo linea H M occurrit Hyperbolæ ducatur S I R lineis D C & A B parallela, ſimilia erunt Triangula VAG & LRI, VBG & KSI lineis enim parallelis terminantur, erit ergo

$$VG : AG = LI : RI$$

$$\& \; VG : GB = KI : SI$$ & per compoſitionem rationis

$$\overline{VG}^2 : AG \times GB = LI \times KI : RI \times SI$$

($= PD \times DN$ per Lem. I.) Sed per Lemma II. eſt

$$LI \times KI : PD \times DN = MH \times IH : CH \times DH$$

eſt ergo

$$\overline{VG}^2 : AG \times GB = MH \times IH : CH \times DH$$

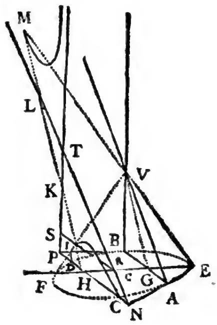
& alternando

$$\overline{VG}^2 : MH \times IH = AG \times GB : CH \times DH.$$

Erat autem $\overline{VG}^2 : MH \times IH = EG \times FG : EH \times FH$, ex primâ demonſtrationis parte, eſt ergo $AG \times GB : CH \times DH = EG \times FG : EH \times FH$. Q. E. D.

℞ *Caſ.* 2. Si punctum F infinitè diſtaret à puncto E, linea F G æqualis cenſenda foret lineæ F H, ideoque $EG \times FG : EH \times FH = EG : EH = AG \times CB : GH \times DH$, hoc eſt ipſæ partes ſecantis forent inter ſe ſicut facta partium parallelarum quas ſecat.

Caſ. 3. Si punctum F non foret in eâdem ſectione in qua eſt punctum E, ſed in oppoſitâ, eadem foret demonſtratio niſi quod puncta M & I, in eadem Hyperbola forent.



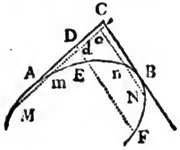
Caſ. 4. Eadem etiam fiet demonſtratio ſive puncta G & H ſint intra extremitates Parallelarum A B, C D, aut intra vertices E & F lineæ ſecantis, ſive ſint extra.

Corol. 1. Sumatur medium lineæ ſecantis puncta E & F ſitque c, ſi interſectio ejus lineæ per Parallelam ſit intra vertices, erit factum partium ejus æquale quadrato ejus dimidii dempto quadrato ejus portionis à Centro ad interſectionem ſumptæ, v. gr. erit $EG \times GF = \overline{cE}^2 - \overline{cG}^2$ ut liquet *per* 5. 2. *Elem.* Si interſectio ejus lineæ ſit extra vertices, erit factum ejus partium æquale quadrato portionis ejus à Centro ad interſectionem ſumptæ dempto quadrato dimidiæ lineæ, v. gr. foret $EG \times GF = \overline{cG}^2 - \overline{cE}^2$, ut liquet per 6. 2. *Elem.*

Corollar. 2. Ex puncto quovis ductæ ſint duæ Tangentes ad ſectionem Conicam, & ex quodam puncto unius ex illis Tangentibus, ducatur linea trans ſectionem Conicam alteri Tangenti parallela. Quadratum prioris Tangentis eſt ad quadratum alterius Tangentis ut quadratum partis

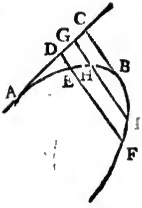
Digitized by Google

tis in primâ Tangente aſſumptæ ad factum lineæ Parallelæ alteri tangenti per ejus Partem inter Tangentem & curvam comprehenſam (*Apol. lib. 3. Prop. 16.*)

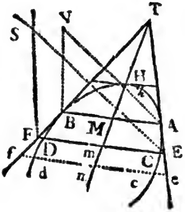


Sint AC, CB Tangentes ſectionis Conicæ ABF, ex D ducatur DEF parallela CB, erit $\overline{AC}^2 : \overline{CB}^2 = \overline{AD}^2 : DF \times DE$.

Ducatur Mmc parallela Tangenti AB, & Nnc parallela Tangenti CB, & Mmc lineam DEF ſecet in d, erit per Lem. ſup. $cn \times cN : dF \times dE = Mc \times mc : Md \times md$, eſt enim Mc linea ſecans parallelas cN, dF; evaneſcant arcus Mm, & Nn, coincident lineæ Mmc cum AC & Nnc cum BC, eritque $cn = CN = CB$, $dF = DF$, $dE = DE$, $Mc = mc = AC$, $Md = md = AD$, ergo erit $\overline{CB}^2 : DF \times DE = \overline{AC}^2 : \overline{AD}^2$ & permutando & alternando $\overline{AC}^2 : \overline{CB}^2 = \overline{AD}^2 : DF \times DE$. Q. D. E.



Coroll. 3. Si ex variis punctis Tangentis ducantur lineæ Parallelæ trans ſectionem Conicam, Quadrata partium Tangentis ſunt inter ſe ut facta Parallelarum per earum partem inter Tangentem & curvam interceptam. Sit AC Tangens ex ejus punctis D & G ducantur Parallelæ DEF, GHI, erit $\overline{AD}^2 : \overline{AG}^2 = DF \times DE : GI \times GH$, nam ſupponatur in B ea Tangens quæ his lineis ſit Parallela ſeceṫque priorem in C erit per Corollarium ſuperius $\overline{AC}^2 : \overline{BC}^2 = \overline{AD}^2 : DF \times DE = \overline{AG}^2 : GI \times GH$ ergo alternando, $\overline{AD}^2 : \overline{AG}^2 = DF \times DE : GI \times GH$. *Q. D. E.*



Lemma IV. Dicatur ſectionis Conicæ Diameter ea linea quæ Parallelas in curva terminatas bifariam dividit: ſit ejus Diametri vertex punctum in quo curvæ occurrit; illæ Parallelæ, quas biſecat, ipſi ordinatim applicatæ dicantur, & earum alterutra pars dicatur ordinata illius Diametri; portio Diametri ab ejus vertice ad Ordinatam uſque, dicetur ejus abſciſſa: & denique ea Diameter quæ Parallelas biſecando ſimul eſt illis perpendicularis, dicatur Axis.

His poſitis 1°. Linea quæ duas Parallelas biſecabit erit Diameter curvæ: id eſt cæteras omnes lineas hiſce Parallelas etiam biſecabit. (*Apol. lib. 2. Prop. 28.*)

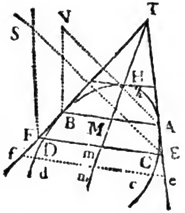
2°. Linea in Vertice Diametri ducta & Ordinatis Parallela, erit Tangens curvæ in eo Vertice (*Apol. Lib. 1. Prop. 17.*) & vice verſâ ea linea erit Diameter quæ biſecabit lineam quæ erit Parallela Tangenti per ejus verticem ductæ: (*Apol. Lib. 2. Prop. 7.*)

Denique; Quadrata ordinatarum erunt inter ſe ut facta partium quas ſecant in Diametro.

Demonſt. In extremitatibus lineæ AB ducantur Tangentes quæ concurrant in T, per

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.



per medium M, lineæ A B ducatur T M m ſitque linea D C parallela lineæ B A hinc inde producta donec Tangentibus T B, T A productis ſi neceſſe ſit in E & F occurrat: Per A B & Verticem coni V ducatur planum V A B, & per E F planum ipſi Parallelum quod Hyperbolam in Cono formabit, erit ergo D C linea ad Hyperbolam pertinens, & propter Tangentes B F A E, puncta F & E ad Aſymptotos pertinebunt, ergo (per *Lem. I.*) eſt $EC = FD$, ſed ob parrallelas A B, E F & quia bifariam dividitur A B in M per lineam T M m erit $mE = mF$, itaque $mE - EC$ (ſive mC) $= mF - FD$ (ſive mD) ergo linea T M, lineam CD lineæ A B parallelam bifariam dividit, idem verò de quâvis linea c d parallelâ lineæ A B demonſtrabitur ergo linea M m per medium linearum A B, C D, tranſiens omnes earum Parallelas in curva terminatas bifariam dividit. Eſt ergo Diameter curvæ.

2°. Linea per Verticem Diametri H ducta, & ordinatis Parallela eſt tangens curvæ, pone enim illam lineam ſectioni iterum occurrere in h, linea T M quæ dividit bifariam omnes Parallelas lineæ A B in curva terminatas, deberet bifariam dividere lineam H h, ſed illud abſurdum, ſiquidem illam attingit in ejus extremo H, ergo linea per verticem Diametri ducta ordinatis parallela curvam iterum non attingit, eſt ergo Tangens in puncto H. Vice versâ ſit Tangens lineæ A B parallela, & ex medio M lineæ A B per H punctum contactûs ducatur linea, ea erit Diameter; ſi enim Diameter quæ tranſit per M ad h non verò ad H pertingeret, ducatur per h linea Parallela lineæ A B, ea erit Tangens in h; eritque Parallela Tangenti in H, ſed illud eſt abſurdum, ergo linea M H eſt Diameter.

Denique cùm Diameter ſecet Parallelas ſunt (juxta *Lem.* III.) facta partium Parallelarum, ut facta partium quas ſecant in Diametro, ſed partes ſingulæ Parallelæ à Diametro ſectæ ſunt utrinque æquales & ordinatæ dicuntur, ergo quadrata Ordinatarum ſunt ut facta partium quas ſecant in Diametro.

Lemma V. E quovis puncto Sectionis Conicæ ducatur ordinata ad Diametrum, & Tangens quæ illi Diametro occurrat in quodam puncto: diſtantiæ hujus puncti ab utroque vertice Diametri erunt inter ſe ſicut abſciſſæ ab utroque vertice Diametri ſumptæ (*Apollon. l.* 1. *prop.* 34.)

E puncto P curvæ ducatur ordinata PO ad Diametrum A D, & in eâ ſumatur punctum M tale ut ſit $AM : DM = AO : DO$, ducaturque linea P M, illa in nullo alio puncto F curvæ occurret, hoc eſt, erit Tangens in P.

Demonſt... Ex eo puncto ſuppoſito F ducatur ordinata F H, erit $MO : MH = PO : PH$ & $\overline{MO}^2 : \overline{MH}^2 = \overline{PO}^2 : \overline{FH}^2$, ſed ſi F pertineat ad curvam eſt (per *Lem* IV.) $AO \times OD : AH \times HD = \overline{PO}^2 : \overline{FH}^2$ ergo $AO \times OD : AH \times HD = \overline{MO}^2 : \overline{MH}^2$ & alternando $AO \times OD : \overline{MO}^2 = AH \times HD : \overline{MH}^2$. Ducantur autem per A & D lineæ A X D K parallelæ P M quæ ſecent P O ejuſque productionem in E & K, & per P & H ducatur linea quæ parallelas A X & D K in I & S, ſecet, ſimilia erunt Triangula AOE, MOP, DOK ob parallelas, unde habentur hæ proportiones $AO : MO = AE : MP$.

& $OD : MO = DK : MP$ & per compoſitionem rationis erit

$$AO \times OD : \overline{MO}^2 = AE \times DK : \overline{MP}^2.$$

Pariter ſimilia ſunt Triangula AHI, MHP, DHS, unde eſt: $AH : MH = AI : MP$

& $DH : MH = DS : MP$.

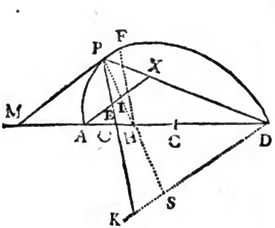
& per compoſitionem rationis erit

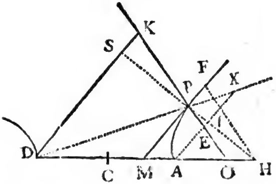
$$AH \times DH : \overline{MH}^2 = AI \times DS : \overline{MP}^2.$$

Sed ſi F pertinet ad curvam invenitur $AO \times OD : \overline{MO}^2 = AH \times DH : \overline{MH}^2$, foret ergo $AE \times DK : \overline{MP}^2 = AI \times DS : \overline{MP}^2$.

ſive

Digitized by Google





ſive A E × D K = A I × D S & A E : A I = D S : D K, quod abſurdum eſſe in datâ Hypotheſi ſic evincitur.

Ex P ad Diametri extremitatem D, ducatur P D, quæ lineam A E I (producta ſi neceſſe ſit) ſecet in X; ob parallelas P M, X A eſt A M : D M = P X : D P
& P X : D P = X E : D K,
& ob Triangula ſimilia A O E, D O K eſt A O : D O = A E : D K, & quia per Hypotheſim eſt A M : D M = A O : D O, erit X E : D K = A E : D K ideoque in datâ Hypotheſi X E = A E & cum ſit
X I : X E = D S : D K ob parallelas, erit
X I : A E = D S : D K erat verò ex ſuppoſitione quod F eſt in curva,
A E : A I = D S : D K, foret ergo
X I : A E = A E : A I, & $A E^2$ = X I × A I.
Sed $A E^2$ quadratum dimidii lineæ A X eſt ſemper majus Rectangulo ejus partium X I × A I (per 5. 2. Elem.), abſurdum ergo eſt ea eſſe æqualia, quod tamen ſequitur ſuppoſito punctum F ad curvam pertinere, ideoque, M P curvam tangit in P. Sed ad idem cujuſvis curvæ punctum duas Tangentes rectas duci non poſſe ex naturâ curvarum liquet, ergo Tangens in P, ita occurrit Diametro ut ſit
A M : D M = A O, D O. Q. E. D.

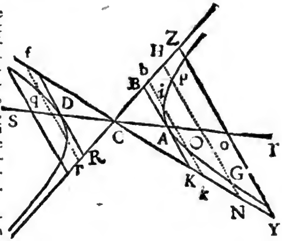
Cor. 1. Si Diameter A D ſit infinita, hoc eſt punctum D ad infinitum removeatur, D M & D O æqualia cenſenda ſunt, cum ergo ſit D M : A M = D O : A O erit A M = A O; ſive diſtantia puncti concurſus Tangentis cum Diametro, ab ejus vertice, æqualis erit abſciſſæ ab eodem vertice ſumptæ (*Ap. lib.* 1. 35.)

Cor. 2. Si Diameter A P ſit terminata, ejuſque medium ſit C ſitque P O ordinata fiatque C M, C A = C A : C O, erit P M tangens in puncto O; Etenim ſumendo ſummam & differentiam terminorum harum rationum eſt,
C M + C A : C A + C O = C M — C A : C A — C O
ſive in primâ ratione ponendo D C pro C A, eſt D M : D O = A M : A O aut alternando D M : A M = D O : A O, ergo (*per Lemma*) M P erit Tangens in P, eſt ergo ſemidiameter media proportionalis inter abſciſſam à centro ſumptam, & partem Diametri à centro ad concurſum Tangentis comprehenſam. (*Apol. Lib.* 1. 37.)

Cor. 3. In Puncto P Sectionis Conicæ ducatur Tangens, quæ ſecet Diametrum in M, & ducatur ordinata P O quæ ſecet Diametrum in O factum partium Diametri A O × D O eſt æquale facto C O × O M ex partibus lineæ à Centro ad Tangentem ſumptæ & per ordinatam in O ſectæ. Cum enim ſit C M : C A = C A : C O tollendo terminos ſecundæ rationis à terminis primæ erit M A : A O = C A (ſive D C) : C O, unde componendo erit M O : A O = D O : C O, ideoque A O × D O = C O × M O : & (per 5. vel 6. 2. Elem.) prout O eſt inter A & D vel ultra, erit $C O \times M O = A C^2 - C O^2$ vel $C O^2 - A C^2$, unde deducitur M O
$$= \frac{A C^2 - C O^2}{C O} \text{ vel } \frac{C O^2 - A C^2}{C O}.$$

De Hyperbolâ.

Theor. I. Lineæ omnes ab Interſectione Aſymptotorum in eorum Angulo ductæ & utrinque productæ, ſunt Hyperbolæ utriuſque Diametri, & earum portio inter utramque Hyperbolam comprehenſa, dicitur Diameter tranſverſa, & bifariam dividitur in Interſectione Aſymptotorum quæ ideo centrum Hyperbolarum vocatur. Tangentes verò in utroque vertice ejuſdem Diametri ductæ & inter Aſymptotos comprehenſæ ſunt inter ſe Parallelæ & æquales, & bifariam dividuntur ab ea Diametro dicunturque ejus Diametri conjugatæ. (*Apol. lib.* I. *Prop.* 30. *lib.* 2. *Prop.* 3. & 19.)



Demonſt. Ductâ enim quomodocumque lineâ S C T in Angulo Aſymptotorum Z C Y per earum interſectionem C, ſi circa CZ & CY ſumantur reciprocè proportionalia ſinubus Angulorum adjacentium, ducaturque linea Z Y illa per lineam SCT bifariam dividetur; nam in Triangulo C Z Y eſt C Z : C Y = Sin. Y : Sin. Z = Sin. Y C o : Sin. Z C o (per conſt.) & alternando, Sin. Y : Sin. Y C o = Sin. Z : Sin. Z C o. Sed in Triangulo C o Y eſt

Sin. Y : Sin. Y C o = C o : Y o,

& in Triangulo C M Z eſt

Sin. Z Sin. Z C o = C o : Z o,

ergo cùm duæ priores rationes ſint æquales, eſt C o : Y o = C o : Z o, ideoque Y o = Z o.

Omnis autem linea H N lineæ Z Y parallela ſimiliter bifariam dividetur in O per lineam S T, partes autem ejus inter Hyperbolam & Aſymptotum utrinque contentæ ſunt æquales, per Lem. I. cùm ergo ſit ſemper H O = O N, & H P = G N eſt H O — H P = N O — N G ſive O P = O G. Ergo linea S T, lineas omnes lineæ Z Y parallelas, in Hyperbola contentas bifariam ſecat, eſt ergo ejus Diameter per *Lemma* V.

Sint verò A & D puncta in quibus linea S T occurrit Hyperbolis, per ea ducantur FAK, FDR parallelæ lineæ ZY inter Aſymptotos contentæ, ergo biſecantur in A & D, cùm verò ſint parallelæ ordinatis Diametro S T ſunt Tangentes in verticibus A & D (per *Lemma* IV.) & inter ſe Parallelæ.

Dico præterea eas eſſe æquales, ducantur enim Parallelæ ipſis proximæ b i K, f q r : erit f q × q r = b i × K i (per *Lem.* I.) accedentibuſque ordinatis ad Tangentes fit tandem f q = F D, q r = R D; b i = B A, & K i = K A eſt ergo F D × R D = B A × K A, ſed eſt F D = D R & B A = K A ergo F D² = B A² & F D = B A = K A. Unde tandem cùm Triangula C A K & C D F ſint ſimilia, & ſit C A : C D = K A : F D eſt etiam C A = C D.

Theor. II. Tertia proportionalis Diametro tranſverſæ & Diametro conjugatæ dicatur Latus Rectum; Eſt Diameter tranſverſa ad Latus Rectum ut factum Abſciſſarum ab utroque vertice ſumptarum, ad quadratum Ordinatæ; Hinc iſta curva ὑπερβολὰ ſive excedens dicitur, quia quadratum ordinatæ majus eſt facto lateris Recti per abſciſſam à proximo vertice (*Apol. lib.* I. *Prop.* 21. Coincidit verò hæc propoſitio cum iſta, eſt quadratum Diametri Tranſverſæ ad quad. Diametri conjugatæ ut factum abſciſſarum ad quadratum ordinatæ.

Demonſt. Sit ut prius Diameter tranſverſa D A T, conjugata B A K & ordinata inter Aſymptotas contenta H P O G N : ſunt (per Lem. II.) facta partium ſumptarum in lineis D O, H N à puncto Hyperbolæ ad utramque Aſymptotum, ſicut facta partium earundem linearum à puncto concurſus O, uſque ad Hyperbolam ſumptarum; hoc eſt A C × A C : G N × G H = A O × D O : P O × G O. Sed G N × G H æqualis eſt quadrato ſemi Tangentis B A, ſive ſemidiametri conjugatæ; nam (per Lem. I.) eſt G N × G H = b i × K i (& per præced. dem. b i × K i = B A²) & eſt P O = G O ideo propór-

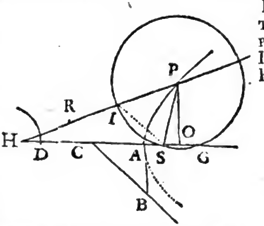
Digitized by Google

pertio ſuperior huc redit, $AC^2 : BA^2 = AO \times DO : PO^2$. Sit verò L latus rectum, eſt per ejus definitionem $2AC : 2BA = 2BA : L$, ergo eſt $2AC : L = 4AC^2 : 4BA^2 = AC^2 : BA^2$ ideoque $2AC . L = AO \times DO : PO^2$.

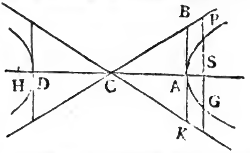
Hinc deducitur quod $PO^2 = \frac{L \times AO \times DO}{2AC} = \frac{DO}{AD} \times L \times AO$; ut ergo DO eſt ſemper major quàm AD, eſt etiam PO^2 ſemper major quàm $L \times AO$. Q. E. D.

Theor III. Diameter illa quæ Aſymptotorum Angulum bifariam dividit eſt perpendicularis ſuis ordinatis (ut liquet ex Elem.), ideoque eſt Axis Hyperbolæ & ejus Diameter Conjugata Axis conjugatus: ſi à Centro feratur utrinque in Axem longitudo Aſymptoti à centro ad extremum Axis conjugati ſumptæ, puncta notata in Axi dicuntur foci Hyperbolæ, & ſi à focis ad quodvis Hyperbolæ punctum ducantur lineæ, earum differentia eſt ſemper Axi tranſverſo æqualis. Latus Rectum axis dicitur Latus rectum Principale, & tota linea ordinatim Axi applicata in foco eſt æqualis illi lateri recto Principali, quod erit majus quadruplo diſtantiæ verticis à foco, ſi denique bifariam dividatur Angulus quem faciunt lineæ ab utroque foco ad idem curvæ punctum ductæ, linea eum angulum biſecans, erit Tangens curvæ in eo puncto. (*Apol. lib.* 3. 51.)

Demonſt. Ducatur quævis linea ex foco H, ſumatur $HI = DA$, & ducta IS ad alterum focum S, fiat $ISP = PIS$ erit $PI = PS$, ideoque differentia linearum HP, SP erit $HI = DA$ ſeu axi tranſverſo, dico hoc poſito, P ad Hyperbolam pertinere. Centro P, radio PS, deſcribatur circulus ISGN habebitur hæc proportio, $HI : HS = HG : HN$ ſumatur dimidium harum linearum manebit proportio, ſit autem $\frac{1}{2} HI = HR$, $\frac{1}{2} HS = CS$ $\frac{1}{2} HG = \frac{1}{2} HS + \frac{1}{2} SG$ & demiſſa PO perpendiculari in SG eſt $\frac{1}{2} SG = SO$, ergo $\frac{1}{2} HG = CS + SO = CO$. Denique $\frac{1}{2} HN = \frac{1}{2} HI + \frac{1}{2} IN = RI + IP = RP$ eſt ergo $HR : CS = CO : RP$: componendo primum habetur $HR : CS + HR = CO : RP + CO$ & prioris rationis terminos terminis ſecundæ jungendo

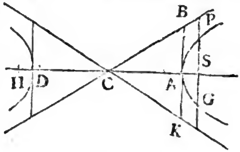


habetur $HR : CS + HR = CO + HR : HR + RP + CS + CO$, ſive quia $HR = AC = DC$, & $CS = CH$ eſt $AC : CS + AC = DO : HP + HO$. At operationibus contrariis in eandem proportionem $HR : CS = CO : RP$ factis, hoc eſt, dividendo & poſtea prioris rationis terminos e terminis ſecundæ detrahendo, ſubſtitutionibus factis erit $AC : CS - AC = AO : HP - HO$, multiplicatis ergo terminis utriuſque proportionis erit $AC^2 : CS^2 - AC^2 = AO \times DO : HP^2 - HO^2$ ſit autem perpendicularis AB erecta ab A uſque ad Aſymptotam CB, eſt $CB = CS$, & $CS^2 - AC^2 = AB^2$; eſt etiam $HP^2 - HO^2 = PO^2$, eſt ergo $AC^2 : AB^2 = AO \times DO : PO^2$, ſed eſt $AC^2 : AB^2 = DO \times AO$ ad quadratum ordinatæ in O, (per *Theor.* II.) ergo PO eſt ipſa illa ordinata & punctum P ad Hyperbolam pertinet.

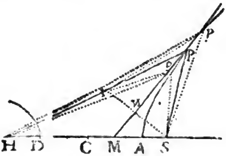


Sit autem PS ordinata in foco, erit $AC^2 : AB^2 = AS \times DS : PS^2$ eſt verò $DS = CS + AC$ & $AS = CS - AC$, ergo $BS \times AS = CS^2 - AC^2 = AB^2$, ergo $AC^2 : AB^2 = AB^2 : PS^2$, & $AC : AB = AB : PS$, & duplicando omnes

Digitized by Google

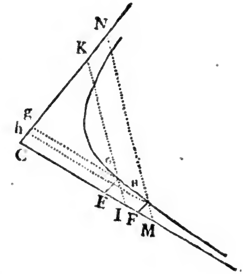


terminos $2AC : 2AB = 2AB : 2PS$ ſive PG. Sed eſt per naturam lateris recti $2AC : 2AB = 2AB : L$, ergo $L = PG$: & $\frac{1}{2} L = PS$, ſed cùm *per Theor.* II. ſit $PO^2 = \frac{DO}{AB} \times L \times AO$ erit ergo PS^2 ſive $\frac{1}{4}L^2 = \frac{DS}{AB} \times L \times AS$ & $\frac{1}{4}L = \frac{DS}{AB} \times AS$, ut itaque DS eſt major AB, erit $\frac{1}{4} L$, major $A S$.



Denique. Ducantur à focis lineæ H P, S P, linea P M biſariam dividat angulum P, dico eam eſſe Tangentem Hyperbolæ in P; hoc eſt illam non occurrere Hyperbolæ in alio quovis puncto p; ex H P tollatur H I = D A, erit P I = P S (per hoc Theor.) & ducta I S erit P M perpendicularis in medium N lineæ I S, ex alio quovis puncto p ducantur rectæ p I p S erunt inter ſe æquales, ob æqualia Triangula p N I, p N S (*per* 4. 1. *Elem.*) ſed ſi p eſſet in Hyperbola, eſſet H p = H I + p S ſive quia p I = p S eſſet H p = H I + I p, quod abſurdum (*per* 20. 1. *Elem.*)

Theor. IV. Si ſumantur pro abſciſſis portiones quævis Aſymptoti ab Hyperbolæ centro, & Ordinatæ ſint Parallelæ alteri Aſymptoto, Ordinatæ erunt ſuis Abſciſſis reciprocè proportionales; Et area inter Aſymptotum, Hyperbolam, ordinatam Vertici axis occurrentem & ordinatam quamvis comprehenſa erit abſciſſæ hujus ordinatæ Logarithmus.



Demonſt. Sit C centrum Hyperbolæ, C E C F abſciſſæ, E G F H ordinatæ Aſymptoto C N parallelæ, dico quod eſt C E : C F = F H, E G : Ductis enim per G & H lineis G g, H h parallelis Aſymptoto C F, & I G K, M H N inter ſe parallelis trans Hyperbolam, erunt ſimilia Triangula I G E & M H F, G K g & H N h propter Parallelas, ideoque eſt

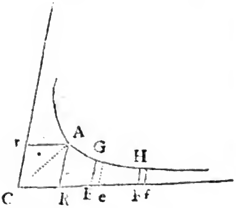
$IG : MH = GE : HF$

& $GK : HN = Gg$ (ſive CE) $: Hh$ (ſive FC) compoſitis rationibus eſt

$IG \times GK : MH \times HN = GE \times CE : HF \times FC$. Sed, (per Lem. I.) eſt $IG \times GK = MH \times HN$, ergo $GE \times CE = HF \times CF$ eſt ergo $CE : CF = HF : GE$,

cum autem Parallelogrammata C G, C H, ſint æquiangula & ea lateribus reciprocis contineri ſit demonſtratum, ſunt æqualia.

Dico denique areas Hyperbolæ eſſe abſciſſarum Logarithmos; ex centro C ducatur axis CA, & ex vertice A ducantur lineæ AR Ar Aſymptotis Parallelæ, ob Angulum C biſariam diviſum & parallelas, erit CR = AR ſit A R = 1; & fingantur duæ ordinatæ quæ ita moveantur ut abſciſſæ unius ſint ſem-



ſemper potentia eadem n alterius; coincident quidem in R, nam quævis potentia unitatis eſt ſemper 1, ſed procedendo ſit $CE = x$ debebit eſſe $CF = x^n$, erunt ergo $GE \frac{1}{x}$ & $HF \frac{1}{x^n}$ eſt enim

$CE : CR = AR : GE$ ſive $x : 1 = 1 : \frac{1}{x}$

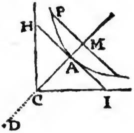
& $CF : CR = AR : FH$ ſive $x^n : 1 = 1 : \frac{1}{x^n}$,

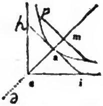
fluxio autem lineæ CE erit $dx = Ee$, & lineæ CF erit $nx^{n-1}dx = Ff$, ideo areæ RG fluxio erit $dx \times \frac{1}{x} = \frac{dx}{x}$ & areæ RH, $nx^{n-1}dx \times \frac{1}{x^n} = \frac{ndx}{x}$ ſed $\frac{dx}{x} : \frac{ndx}{x} = 1 : n$, ſunt ergo fluxiones earum arearum in Ratione conſtanti 1 ad n, ideoque & areæ integræ RG, RH quæ ſunt earum ſummæ, ſunt in eâdem ratione 1 ad n, ſunt autem 1 & n Exponentes potentiârum abſciſſarum CE, CF; ſunt ergo areæ ſicut illi exponentes, ſed Logarithmi ſunt ſemper ut Exponentes potentiarum quantitatum quarum ſunt Logarithmi, ergo illæ areæ RG, RH, ſunt Logarithmi abſciſſarum CE, CF.

In puncto R ubi abſciſſa eſt unitas, area eſt o, ut Logarithmis convenit, fitque negativa retrocedendo ab R verſus C, ſimulque cum ſint abſciſſæ minores unitate CR ſiunt fractiones.

Theor. V. Si Angulus Aſymptotorum ſit Rectus, Hyperbola dicitur æquilatera, æqualeſque ſunt Axes conjugati, ideoque latus Rectum Axi tranſverſo eſt æquale: ac (*per Theor.* II.) facta abſciſſarum quadrato ordinatarum æqualia ſunt, ſicut in circulo: Diverſæ Hyperbolæ eodem Aſymptotorum angulo deſcriptæ ſunt ſimiles: Si verò idem ſit Hyperbolarum axis, ſed diverſus Angulus, erunt ordinatæ ad idem axeos punctum ſicut Radices quadratæ Laterum Rectorum Principalium, & in eâ erunt ratione portiones earum Hyperbolarum per Ordinatas terminatarum quarum æquales ſunt abſciſſæ.

Demonſt. Axis tranſverſus eſt perpendicularis conjugato, dividitque bifariam angulum Aſymptotorum; ſi ergo is angulus ſit 90°. ejuſque dimidium 45°. Triangulum CAH erit Iſoſceles & $CA = AH$, cætera ex his facilè deducuntur.



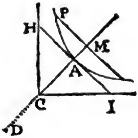


Si in duabus Hyperbolis anguli Aſymptotorum ſint æquales, ut bifariam dividuntur per axem, ſimilia erunt Triangula CAH, cah: ideoque $CA^2 : AH^2 = Ca^2 : ah^2$ ſumantur abſciſſæ AM, am in ratione AD ad ad erit etiam DM : dm in eadem ratione cum ſit ergo $AM : am = AD : ad$

& $DM : dm = AD : ad$.

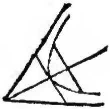
eſt $AM \times DM : am \times dm = AD^2 : ad^2$ ſed eſt $CA^2 : AH^2 = ca^2 : ah^2 = AM \times DM : MP^2 = am \times dm : mp^2$, & altern. $AM \times DM : am \times dm = MP^2 : mp^2$ eſt ergo $AD^2 : ad^2 = MP^2 : mp^2$ unde eſt $MP : mp = AD : ad$, omnes ergo ordinatæ ac omnia puncta Hyperbolæ determinantur per rationem AD ad ad.

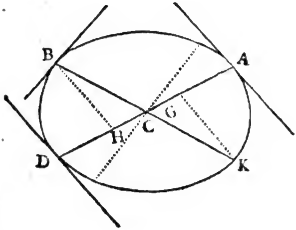
 Sint



De Ellipſi.

Theor. I. Omnes Ellipſis Diametri ſeſe biſariam ſecant in eodem puncto quod dicitur centrum Ellipſis, eaque Diametri ordinata quæ per centrum tranſit eſt ipſa Diameter, quæ reſpectu Diametri, cujus eſt ordinata, conjugata dicitur: (*Apol. l.* 1. *Prop.* 30.)





Sint denique in duabus Hyperbolis æquales axes tranſverſi, ſed diverſi Aſymptotorum Anguli; diverſa erunt Latera Recta, ſumantur ergo æquales abſciſſæ, & quoniam Axis eſt ad latus Rectum ſicut factum partium abſciſſæ ad quadratum ordinatæ, Axis verò & factum partium abſciſſæ æqualia ſunt utrinque, eadem erit utrinque ratio Lateris recti principalis ad quadratum ordinatæ, erunt ergo ordinatæ quæ ad æquales abſciſſas pertinebunt, ut Radices quadratæ Laterum rectorum principalium, quæ ratio eſt conſtans, ſit ergo utraque abſciſſa in portiones infinitè parvas & utrinque æquales diviſa ſingula Parallelogrammata quam minima ſuper æquales abſciſſæ portiones formata erunt in eadem ratione ac ordinatæ, ergo areæ Hyperbolarum, quæ ſunt eorum Parallelogrammorum ſummæ, in eâdem erunt ratione, nempe ut Radices quadratæ laterum Principalium.

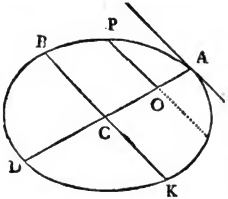
Demonſt. Si per medium C, Diametri Ellipſis AD, ducatur linea quævis BK, & per puncta B & K ducantur BH, KG ordinatæ Diametro AB, erit *per Lemma* V $AG \times GD : AH \times HD = GK^2 : BH^2$ & propter Triangula ſimilia GKC, CBH eſt $GK : BH = CG : CH = BC : CK$, eſt ergo $AG \times GD : AH \times HD = CG^2 : CH^2$, eſt autem (per 5. 2. Elem.) $AG \times GB = AC^2 - CG^2$ & $AH \times HB = AC^2 - CH$, eſt ergo

$AC^2 - CG^2 : AC^2 - CH^2 = CG^2 : CH^2$. & jungendo terminos ſecundæ rationis terminis prioris, eſt $AC^2 : AC^2 = CG^2 : CH^2$, ideo $CG = CH$, ac per conſequens $BC = CK$. Omnes ergo lineæ per punctum C tranſeuntes illic biſariam ſecantur. Sunt autem ſingulæ Diametri Ellipſis, nam in vertice B ducatur Tangens, & per Centrum C linea illi parallela, ea dividetur biſariam, cum itaque BK biſecet lineam Parallelam Tangenti per ejus verticem ductæ, eſt *Diameter*, *per Lemma V.*

Denique ſolæ lineæ per Centrum tranſeun-

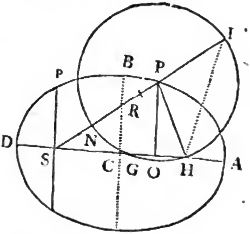
euntes ſunt Diametri ; ſingatur enim Diameter per centrum non tranſiens, ducatur Tangens in ejus Vertice, & illi Tangenti ducatur Parallela per Centrum C, biſariam dividetur in centro, ergo biſariam non dividetur à Diametro ſuppoſitâ quæ per centrum non tranſit, ergo male ſupponitur eam eſſe Diametrum: Omnes ergo Diametri Ellipſis per centrum tranſeunt, illicque biſecantur.

Theor. II. Tertia proportionalis Diametro tranſverſæ ejuſque conjugatæ dicatur Latus Rectum, erit Diameter tranſverſa ad Latus Rectum, vel quod idem eſt quadratum diametri tranſverſæ ad quadratum ejus conjugatæ, ut factum abſciſſarum ſumptarum ab utroque Vertice Diametri ad quadratum ordinatæ, inde quadratum Ordinatæ ſemper minus deprehenditur facto Lateris recti per utramlibet abſciſſam, undè hæc curva dicitur Ellipſis ; (*Apoll. lib.* 1. *Prop.* 21.)



Demonſt. Sit Ellipſis Diameter A C D, ejus conjugata B C K eſt per Lemma I V, $AC \times CD$ ſive $AC^2 : AO \times DO = BC^2 : PO^2$ & alternando $AC^2 : BC^2 = AO \times DO : PO^2$, ſed eſt $2\,AC : 2\,CB = 2\,CB : L$. ergo $4\,AC^2 : 4\,CB^2 = AC^2 : CB^2 = 2\,AC,\ L = AO \times DO : PO^2$, ergo eſt $PO^2 = \frac{L \times AO \times DO}{2\,AC} = \frac{DO}{2\,AC} \times L \times AO$ ſed ut $4\,DO$ eſt ſemper minus quam $2\,AC$, eſt PO^2 ſemper minus facto Lateris recti per alterutram abſciſſam.

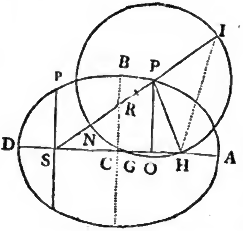
Theor. III. Sit AD axis major, à centro feratur utrinque C H, C S, æquales & tales ut quadratum CH^2 ſive CS^2 cum quadrato ſemiaxis conjugati CB^2 ſit æquale quadrato ſemiaxis majoris CA^2, dicanturque puncta H & S, Foci, ſumma linearum ab utroque foco ad quodvis punctum Ellipſeos ductarum erit ſemper æqualis Axi majori, (Apol. Lib. 3. Prop. 52.) ; & tota linea ordinatim applicata in foco erit æqualis Lateri Recto Principali, quod ergo minus erit quadruplo diſtantiæ foci à proximo Vertice.



Demonſt. Ducatur quævis linea ex foco S, in eâ ſumatur $SI = DA$ & ducta IH ad alterum focum, fiat $IHP = I$ erit $IP = PH$, ideoque $SP + PH = SP + PI = SI = DA$ ſive axi majori: quo poſito dico punctum P ad Ellipſim pertinere. Centro P radio P H deſcribatur circulus I H G N habebitur hæc Proportio $SI : SH = SG : SN$, ſumendo dimidium harum linearum manebit proportio ; ſit autem $\frac{1}{2}\,SI = SR$; $\frac{1}{2}\,SH = CH$; $\frac{1}{2}\,SG = \frac{1}{2}\,SH - \frac{1}{2}\,GH$ & demiſſa P O perpendiculari in GH eſt $\frac{1}{2}\,GH = HO$ ergo $\frac{1}{2}\,SG = CH - HO = CO$. Denique $\frac{1}{2}\,SN = \frac{1}{2}\,SI - \frac{1}{2}\,NI = RI - PI = RP$ eſt ergo

$SR : CH = CO : RP$ & componendo habetur $SR : SR + CH = CO : CO + RP$, tum prioris rationis terminos jungendo terminis ſecundæ, eſt : $SR,\ SR + CH = CO + SR : CO + RP + SR + CH$ ſive quia $SR = AC = DC$ & $CH = CS$, eſt $AC : AC + CH = DO : SP + SO$. At operationibus contrariis factis in eamdem proportionem $SR : CH = CO : RP$, hoc eſt, dividendo & poſtea prioris rationis terminos

De Motu Corporum. Liber Primus.



minos è terminis ſecundæ detrahendo ſubſtitutionibuſque factis erit

$AC : AC - CH = AO : SP - SO$

multiplicatis autem terminis utriuſque proportionis eſt

$AC^2 : AC^2 - CH^2$ (ſive BC^2) $= AO \times DO, SP^2 - SO^2$,

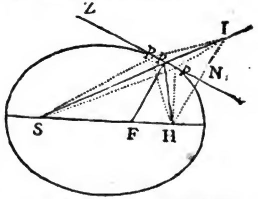
eſt autem (*per* 47. 1. *Elem.*) $SP^2 - SO^2 = OP^2$, ſed eſt $AC^2 : BC^2 = AO \times DO$ ad quadratum ordinatæ in O, eſt ergo PO ipſa illa ordinata, & punctum P ad Ellipſim pertinet.

Sit autem Sp ordinata in foco erit $AC^2 : BC^2 = AS \times SD : Sp^2$, eſt autem (*per* 5. 2. *Elem.*) $AS \times SD = AC^2 - CS^2 = BC^2$, eſt ergo $AC^2 : BC^2 = BC^2 : Sp^2$ ſive, $AC : BC = BC : Sp$, & duplicando omnes terminos: $2\,AC : 2\,BC = 2\,BC : 2\,Sp$, ſed eſt $2\,AC = 2\,BC = 2\,BC : L$ ergo $L = 2\,Sp$, & $\frac{1}{2} L = Sp$.

Eſt autem (*per Theorema* 2.) Sp^2, ſive $\frac{1}{4} L^2 = \frac{AS}{2AC} \times L \times DS$ & $\frac{1}{4} L = \frac{AS}{2AC} \times DS$

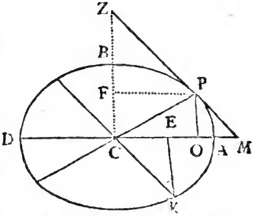
ut ergo eſt AS minor 2 AC erit $\frac{1}{4}$ L minor DS, hoc eſt latus rectum minus eſt quadruplo diſtantiæ foci à proximo Vertice.

Theor. IV. Tangens Ellipſis bifariam dividit Angulum qui fit inter unam è lineis à foco ductam & productionem alterius: & lineæ ab utroque foco ductæ, æquales faciunt angulos cum Tangente, & ſi bifariam dividitur angulus quem faciunt lineæ à foco ductæ, linea biſecans erit curvæ perpendicularis. (*Apol.* 48. *b.* 3. 48.)



Demonſtr. Ducantur à focis lineæ SP HP productaque SP in I, dividatur bifariam angulus SPH, dico lineam ZPN non occurrere Ellipſi in ullo alio puncto p, ſit PI = PH & ducta IH, erit PN perpendicularis in ejus medium, ex alio quovis puncto p, ducantur pI, pH, quæ erunt æquales ob æqualia Triangula pNI, pNH (*per* 4. 1. *Elem.*) ſed ſi p foret in Ellipſi, eſſet Sp + pH. ſive Sp + pI = SI quod abſurdum (*per* 20. 1. *Elem.*)

Eſt autem ZPS = IPN (per 15. 1. El.) eſt IPN = NPH, per conſt. ergo ZPS = NPH. Si ergo FPS = FPH eſt ZPS = FPS = NPH + FPH, ſunt autem omnes ſimul æquales duobus rectis, ergo ZPS + FPS eſt Recto æqualis & PF angulum SPH biſecans eſt in Tangentem, ideoque in curvam perpendicularis.



Theor. V. Sit Diameter quævis AD, & ducantur utlibet duæ aliæ Diametri interſe conjugatæ CP, CK, ex utriuſque vertice ducantur ordinatæ KE, PO in priorem AD, factum abſciſſarum à curvâ ſumptarum, unius ver-

Digitized by Google

vertici reſpondentium erit æquale quadrato abſciſſæ à centro ſumptæ reſpondenti Vertici alterius Diametri: Unde quadrata ambarum abſciſſarum à Centro ſumptarum erunt ſimul æqualia quadrato $\frac{1}{2}$ Diametri in quam ſumuntur, & quadrata ordinatarum erunt æqualia quadrato ejus $\frac{1}{2}$ Diametri conjugatæ. Hinc deducitur ſummam quadratorum duarum Diametrorum conjugatarum quarumvis eſſe ſemper eamdem: eas verò Diametros conjugatas eſſe inter ſe æquales quarum vertices determinantur per ordinatam erectam in Axem majorem cujus abſciſſa à centro ſumpta ſit æqualis radici dimidii quadrati ſemi Axis majoris.

Demonſt... Sint CP CK Diametri conjugatæ, PO KE ordinatæ ex earum verticibus in Diametrum AD ductæ; PM Tangens Parallela Diametro CK: Triangula POM, KEC erunt ſimilia & $PO : KE = MO : CE$, vel $PO^2 : KE^2 = MO^2 : CE^2$ ſive quia (per Cor. 3. Lem. V.) eſt $MO = \frac{CA^2 - CO^2}{CO}$ eſt $PO^2 : KE^2 = \frac{\overline{CA^2 - CO^2}^2}{CO^2} : CE^2$, ſed per Lemma IV. eſt $PO^2 : KE^2 = AO \times DO : AE \times DE$ ſive (per 5. 2. Elem.) $= CA^2 - CO^2 : CA^2 - CE^2$ eſt ergo, $CA^2 - CO^2 : CA^2 - CE^2 = \frac{\overline{CA^2 - CO^2}^2}{CO^2} : CE^2$, dividendo primum & tertium terminum per $\frac{CA^2 - CO^2}{CO^2}$ eſt $CO^2 : CA^2 - CE^2 = CA^2 - CO^2 : CE^2$ & addendo terminos ſecundæ rationis terminis primæ eſt $CA^2 : CA^2 = CA^2 - CO^2 : CE^2$, ergo $CE^2 = CA^2 - CO^2 = AO \times DO$: Pari modo addendo terminos primæ rationis terminis ſecundæ erit $CO^2 : CA^2 - CE^2 = CA^2 : CA^2$: ergo $CO^2 = CA^2 - CE = AE \times DE$. Quod erat primum.

Junctis ergo quadratis abſciſſarum CO^2, CE^2 ſumma eſt æqualis CA^2; nam eſt $CE^2 = CA^2 - CO^2$ ergo $CE^2 + CO^2 = CA^2 - CO^2 + CO^2 = CA^2$.

Sit BC diameter conjugata diametri AC, eſt $PO^2 = \frac{BC^2}{AC^2} \times \overline{CA^2 - CO^2}$ & $KE^2 = \frac{BC^2}{AC^2} \times AC^2 - CE^2 = \frac{BC^2}{AC^2} \times \overline{AC^2 - AC^2 + CO^2} = \frac{BC^2}{AC^2} CO^2$, ergo $PO^2 + KE^2 = \frac{BC^2}{AC^2} \times \overline{AC^2 - CO^2 + CO^2} = BC^2$

Sit autem Diameter AC axis, ordinatæ erunt perpendiculares, ergo $PO^2 + CO^2 = PC^2$, & $CE^2 + KE^2 = CK^2$ (per 47. 1. El.) ergo $PO^2 + CO^2 + CE^2 + KE^2 = PC^2 + CK^2$, ſed $PO^2 + KE^2 = BC^2$, $CO^2 + KE^2 = AC^2$ Ergo $PC^2 + CK^2 = AC^2 + BC^2$. Quarumvis Diametrorum conjugatarum quadrata æqualem ſummam facient ac quadrata axium.

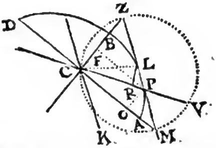
Denique ſi punctum O in axi ita ſit ſumptum ut ſit $\frac{1}{2} CA^2 = CO^2$ & ſit ducta in O ejus ordinata & per ejus verticem P ducatur Diameter ejuſque conjugata, quadratum abſciſſæ quæ reſpondebit vertici Diametri conjugatæ erit æquale $AO \times DO$ ſive $AC^2 - CO^2$ ſed $CO^2 = \frac{1}{2} CA^2$ per hypotheſim, ergo hoc quadratum erit etiam æquale $\frac{1}{2} AC^2$, eadem ergo abſciſſa ac proinde æquales ordinatæ verticibus utriuſque Diametri reſpondebunt, æquales ergo erunt illæ Diametri conjugatæ ſiquidem ſunt Hypothenuſæ æqualium abſciſſarum & Ordinatarum.

Cor. I. Si à vertice Diametri PC, producatur Tangens terminata utrinque in M & Z, ad Diametros conjugatas CA, CB productas, erit ſemi-Diameter CK priori conjugata media proportionalis inter partes Tangentis $PM:PZ$: Ductis enim ordinatis PF PO, ob ſimilia Triangula CKE, ZFP, POM, eſt $CK : CE = ZP : FP$ (ſive CO) & $CK : CE = PM : MO$ unde compoſitis rationibus eſt $CK^2 : CE^2 = ZP \times PM : CO \times MO$, ſed $CO \times MO = AO \times DO$ (per Cor. 3. Lem. V.) & $AO \times DO = CE^2$ per præſens Theorema, ergo $CK^2 : CE^2 = ZP \times PM : CE^2$ & $CK^2 = ZP \times PM$ ſive $ZP : CK = CK : PM$. Q. E. D.

Et converſa per ſe liquet, nempe quod ſi duæ Diametri occurrant Tangenti ductæ in Vertice alterius Diametri, ita ut hujus $\frac{1}{2}$ Diameter conjugata ſit media proportionalis inter partes tangentis, duæ illæ priores Diametri erunt inter ſe conjugatæ.

Digitized by Google

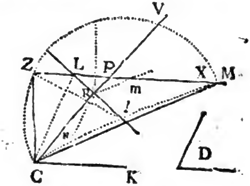
Problema. Datis tàm poſitione quam magnitudine Ellipſeos alicujus non deſcriptæ duabus Diametris conjugatis invenire poſitionem & magnitudinem duarum aliarum Diametrorum conjugatarum, quæ faciant inter ſe angulum quemvis datum.



Primus Caſus: Angulus qui datur ſit rectus, h. e. Diametri quæſitæ ſint Axes conjugati. Sint verò ſemi-Diametri datæ C P C K, per verticem P unius ducatur linea alteri CK parallela, quæ ideo erit Ellipſis Tangens in eo puncto. (per Lem. IV.) producatur C P in V ita ut ſit C P : CK = C K : P V, in medium R lineæ C V erigatur perpendicularis tangentem ſecans in L, & ex L velut Centro radio L C qui æqualis eſt L V; deſcribatur circulus tranſiens per puncta C & V, & Tangentem ſecans in punctis Z & M, dico lineas Z C M C, eſſe in axium poſitione.

Demonſt.... Angulus enim ZCM eſt rectus quia eſt in ſemi-circulo per conſtructionem, præterea quia chordæ CV ZM ſeſe ſecant in P eſt CP × PV = ZP × PM (per 35. 3. Elem.) ſed C P × P V = CK^2 per conſtructionem, ergo CK^2 = ZP × P M ideoque, per Corollarii præcedentis converſam, lineæ CZ, CM, cadunt ſecundum Diametros conjugatas.

Sec. Caſus. Si angulus datus D rectus non ſit, centrum circuli deſcribendi non erit in L ſed in alio puncto l ejuſdem lineæ R L in medio R lineæ C V perpendicularis: ſic verò invenitur: ducatur ex R perpendicularis in Tangentem ſitque cum eâ angulus æqualis dato, & linea eum formans ſecet Tangentem in m, ducatur LC, & per R linea RN ipſi Parallela, ex C ut centro, radioque æquali R m ſecetur R N in N, ductaque C N quæ ſecet L R in l erit l centrum circuli ex quo ſi radio l C circulus deſcribatur, is tranſibit per C & etiam per V (per conſt. & 1. 3. Elem.) ſecabit verò Tangentem in punctis Z & M, è quibus ductis C Z, C M. habetur Diametrorum quæſitarum poſitio.



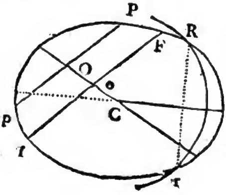
Demonſt. Evidens eſt, ſicut in priore hujus demonſtrationis parte, lineas C Z C M, cadere ſecundum Diametros conjugatas, quæſtio eſt utrum faciant in C angulum datum, ex centro l ducatur linea parallela lineæ R m, dico illam occurrere Tangenti in puncto M, hoc eſt illam fore æqualem radio l M ſive l C, occurrat enim Tangenti in X erit ob Parallelas L R : R m = L l : l X; ſed propter Parallelas R N & L C triangula N l R C l L, ſunt ſimilia, eſtque l R : l N = L l : l C, & ſumptis vel differentiis vel ſummis terminorum utriuſque rationis eſt L R : CN = L l, l C eſt verò per conſtructionem C N = R m ergo L R : R m = L l : l C ergo L l : l X = L l : L C, ſcilicet eſt l X = l O, hoc eſt X cadit in M; radius ergo l M cum ſit Parallelus lineæ R m, faciet cum perpendiculari quæ in lineam Z M duceretur eumdem angulum quem format linea R m cum perpendiculari in eamdem lineam ductâ, angulum nempe quæſitum: & angulus Z l M ejus erit duplum; ſed angulus ZCM eſt anguli Z l M dimidium, ergo eſt æqualis angulo quæſito.

Determinatur autem Diametrorum magnitudo, ductis ex P in utramq. Diametrum ordinatis P O, P F lineis C Z, C M, Parallelis; ½ Diametri enim erunt mediæ proportionales inter abſciſſas à centro, & lineas à centro ad Tangentem ſumptas, hoc eſt, erit C O : C A = C A : C M; & C F : C B = CB : CZ; undè cum cognoſcantur CO & CM, CF & CZ determinantur CA & CB.

Cor. I. Datis axibus, foci inveniuntur ſi

ex-

ex vertice axis minoris, ut centro, cum radio æquali ſemi axi majori ipſe major axis ſecetur, & datis focis & axi majori puncta quotlibet ad Ellipſim pertinentia inveniri poſſunt, ſi ab uno foco ducatur ut libet linea æqualis axi majori & ab ejus extremitate ducatur linea ad alterum focum, fiat in hoc foco ſuper hanc lineam angulus æqualis angulo qui fit inter lineas à focis ductas, ſecabitur prima linea in puncto ad Ellipſim pertinente.

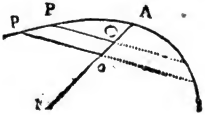


Cor. II. Si Ellipſis ſit data, ſic inveniuntur centrum & Axes: ducantur ut lubet duæ Parallelæ P p, F f, per earum medium O : o, ducatur linea, erit Diameter, ejus medium C erit Centrum ex quo deſcribatur circulus qui ſecet curvam in duobus punctis R r ducatur per centrum linea perpendicularis in lineam R r quæ eam biſariam dividet (*per* 3. 3. *Elem.*) erit ergo Axis, alter axis habetur erigendo lineam huic perpendicularem in Centro ad curvam uſque.

IX. *De Parabola.*

I. *Theor.* Omnes Diametri Parabolæ ſunt infinitæ & inter ſe Parallelæ: quadrata ordinatarum ſunt inter ſe ut Abſciſſæ Diametrorum, & cum tertia proportionalis abſciſſæ & ordinatæ dicatur Latus Rectum, factum lateris Recti per abſciſſam eſt æquale quadrato ordinatæ, hincque derivatur nomen hujus curvæ. (*Apol. lib.* 1. *Prop.* 20.)

Dem. Ducatur in baſi coni chorda parallela plano Parabolæ, & infinitè parva, per verticem coni & eam chordam ducatur Planum & aliud illi parallelum per unam è lineis Parabolæ in hoc plano formabitur Hyperbola, ſed quam proxima Parabolæ, & cujus centrum tanto magis à Vertice coni removetur quo minor eſt chorda per quam tranſit planum per Verticem coni ductum, evaneſcat hæc chorda, centrum ejus Hyperbolæ in infinitum abibit, & ut Planum verticale fiet tangens cono, coincidet hæc Hyperbola cum Parabolâ, ſed omnes ejus Diametri à puncto infinitè remoto divergentes erunt Parallelæ & infinitæ, tales ergo etiam erunt Diametri Parabolæ. Præterea *ex caſu* 2do. *Lem. III.* conſtat, quòd ſi ſecans infinita plures lineas Parallelas in Sectione Conicâ ſecet, abſciſſæ erunt inter ſe ut facta partium linearum Parallelarum, ſed hæ biſariam dividuntur à Diametro, ſunt ergo Diametri abſciſſæ ſicut quadrata ordinatarum.



Fiat $AO, OP = OP : L$ erit $OP^2 = AO \times L$; eſto verò quævis alia abſciſſa Ao & ordinata op erit $AO : Ao = OP^2 : op^2$, & multiplicando primam rationem per L erit $L \times AO : L \times Ao = OP^2 : op^2$, ſed per Hypotheſim $AO \times L = OP^2$ ergo etiam $L \times Ao = op^2$ hoc eſt factum Lateris recti per quamvis abſciſſam æquale eſt quadrato ordinatæ ipſi reſpondenti.

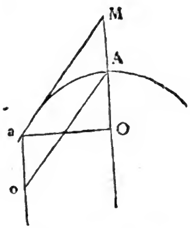
Cor. I. Si in Diametrum productam ſumatur à Vertice longitudo æqualis lateri Recto, & ab ejus extremo ad extremum abſciſſæ deſcribatur ſemi-circulus, & in vertice diametri Parabolæ erigatur Perpendicularis ad circulum uſque, erit hæc perpendicularis æqualis ordinatæ ad eam abſciſſam pertinenti.

Cor. II. Si in Diametro quâvis ſumatur à vertice quarta pars ejus Lateris recti, ordinatim applicata illi puncto erit æqualis lateri recto. Sit enim $Ao = \frac{1}{4} L$ eſt $\frac{1}{4} LL = op^2$: ergo $LL = 4\,op^2$ & $L = 2\,op$. ſivi toti ordinatim applicatæ in o.

R Cor.

Digitized by Google

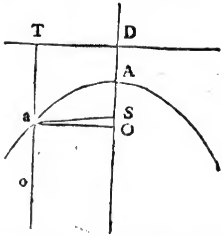
De Motu Corporum. Liber Primus.



Cor. III. Latus Rectum Diametri cujuſvis eſt æquale Lateri recto axis & quadruplo abſciſſæ axis determinatæ per ordinatam è vertice Diametri in axem ductam. Ducatur ex vertice a Diametri tangens a M quæ axi occurrat in M & a O ordinata axi, *per Corollarium Lemmatis* V. diſtantia verticis axis A ad M eſt æqualis diſtantiæ ejuſdem verticis ab O, ergo $MO = 2\,AO$, & (*per* 47. 1. *Elem.*) eſt $aM^2 = MO^2$ (ſive $4\,AO^2$) $+ aO^2$ (ſive $L \times AO$) $= 4\,\overline{AO + L} \times AO$; à vertice A axis ducatur ordinata A o ad Diametrum propoſitam, evidens eſt ob parallelas a o, A O, & Tangentem ordinatæ parallelam, eſſe $ao = AM$ ſive AO & $oA = aM$; ſit verò l latus Rectum Diametri a o, erit oA^2, ſive $aM^2 = l \times ao = l \times AO$ ſed erat $aM^2 = \overline{4\,AO + L} \times AO$ ergo $l \times AO = 4\,AO + L \times AO$, unde $l = L + 4\,AO$. Q. E. D.

Theor. II. Si in axe ſumatur à vertice quarta pars ejus lateris recti, id punctum vocatur Parabolæ focus, ſi verò ultrà verticem eadem feratur longitudo & per punctum in quo cadit ducatur linea axi perpendicularis, dicetur Directrix Parabolæ: Si autem producatur quævis Diameter ad Directricem, portio ejus inter verticem & Directricem comprehenſa eſt quarta pars lateris Recti ejus Diametri, & eſt æqualis diſtantiæ ejus verticis à foco.

Demonſt. Ut enim Diameter & axis ſunt paralleli, ducta perpendiculari a T à vertice diametri ad directricem erit $aT = OD = DA + AO$, eſt verò D A, quarta pars lateris recti principalis & A O abſciſſa axis quæ reſpondet ordinatæ a O à vertice Diametri ductæ, eſt verò (per Corol. 2. Theor. præced.) latus rectum diametri æquale quadruplo lateris recti & quadruplo A O, hoc eſt $= 4\,DA + 4\,AO$ ergo $aT = DA + AO$ eſt quarta pars lateris Recti Diametri a o.

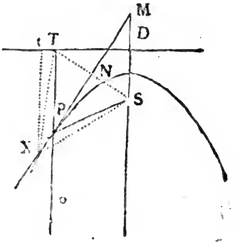


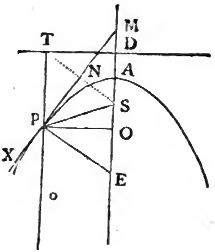
Secundò, E foco Parabolæ S, ad verticem Diametri ducatur S a, ſitque ducta a O ordinata axi, (per 47. 1. Elem.) eſt $Sa^2 = SO^2 + aO^2$ & $aO^2 = 4\,DA \times AO$: ergo $Sa^2 = SO^2 + 4\,DA \times AO$, ſed eſt DO^2 (per 8. 2. El.) $= SO^2 + 4\,DA \times AO$, ergo $DO^2 = Sa^2$ & $Sa = DO = aT$.

Theor. III. Si à puncto Parabolæ ducatur perpendicularis ad Directricem, & linea ad focum, bifariamque dividatur Angulus quem faciunt, linea eum dividens erit Tangens in eo puncto, quæ ſi producatur donec ſecet axem, portio axis à foco ad occurſum Tangentis contenta erit æqualis lineæ à foco ad punctum Parabolæ ductæ: Angulus Diametri cum Tangente erit æqualis angulo lineæ à foco ductæ cum eâ Tangente, ideo ea quæ ſecundum Diametros ad Parabolam adpellunt ad focum reflectentur, & Angulus Diametri cum lineâ à foco ductâ bifariam dividitur per perpendicularem ad curvam: Si ea perpendicularis ſecet axem, pars axis inter eam & ordinatam axi ex Vertice Diametri ductam, eſt æqualis dimidio lateris recti principalis, & pars axis inter eam & Tangentem comprehenſa, eſt dimidium lateris Recti Diametri, ipſa verò per-

Digitized by Google

perpendicularis eſt media proportionalis inter ea ſemilatera recta.





Demonſt. Sit T D directrix, à puncto P linea P T perpendicularis in Directricem ducatur, ducatur etiam ad focum linea P S & denique ducatur linea P N bifariam dividens angulum S P T; illa linea perpendiculariter & bifariam dividet lineam S T à foco ad punctum T ductam. Ex quovis puncto X lineæ P N ducantur lineæ X T, X S, erunt inter ſe æquales (*per* 4. 1. *Elem.*), erit verò X T directrici obliqua ideoque perpendicularis ab X in Directricem demiſſa erit brevior quam X T ac per conſequens brevior quam X S, ergo id punctum X vicinius erit Directrici quam foco, erit ergo extra Parabolam, ideoque linea P N erit Tangens, cum in unico puncto P Parabolæ occurrat.

Anguli autem T P N, N M S ſunt æquales ob Parallelas T P, M S, & per conſt. T P N = N P S, ergo N M S = N P S, eſt ergo Triangulum M S P Iſoſceles, & M S = S P.

Anguli autem X P o, T P N, per verticem ſunt oppoſiti, ergo ſunt æquales, ſed T P N = N P S per conſtr. ergo X P o = N P S.

Dividatur bifariam angulus S P o per lineam P E ita ut ſit o P E = E P S; erit X P o + o P E = N P S + E P S hi quatuor valent duos rectos, ergo X P o + o P E valent rectum & eſt P E perpendicularis in Tangentem.

Eſt ergo in Triangulo Rectangulo M P E (ductâ perpendiculari P O) $MO : PO = PO : OE = \frac{PO^2}{MO}$, eſt verò $PO^2 = L \times AO$ & $MO = 2\,AO$ ergo $OE = \frac{L \times AO}{2\,AO} = \frac{L}{2}$.

Ergo etiam E M eſt æqualis dimidio lateris Recti Diametri P o, eſt enim ejus Latus Rectum æquale lateri Recto principali & quadruplo abſciſſæ A O, eſt verò O E dimidium lateris Recti Principalis & M O = 2 A O, ſive dimidium quadrupli A O, ergo $EM = \frac{1}{2}\,l$.

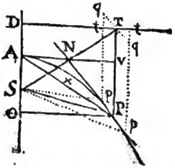
Eſt etiam ob Triangulum Rectangulum M P E, E M : P E = P E : O E; ergo eſt P E hoc eſt perpendicularis in curvam, media proportionalis inter ſemilatus rectum Diametri & ſemilatus rectum Axis.

Theor. IV. Superficies Parabolica inter curvam, abſciſſam axis & ejus ordinatam comprehenſa, eſt ad factum abſciſſæ per Ordinatam ut duo ad tres, ſegmentum verò Parabolicum inter curvam & chordam à Vertice ductam terminatum, eſt ejuſdem facti ſexta pars.

Digitized by Google

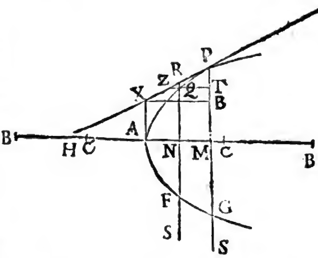
DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

Demonſt. Ex foco S ducatur S P ad quodvis Parabolæ punctum P & ex P ducatur PT ad directricem perpendicularis, ducatur Tangens in puncto P, & in ea ſumantur puncta p, p puncto P proxima & utrinque à puncto P æqualiter diſtita, ab iis ducantur ad focum lineæ S p S p, & p q, p q, lineæ PT parallelæ & æquales; ducaturque qTq, habebitur Parallelogrammum p q q p, cujus baſis p p eſt eadem cum baſi Trianguli S p p; ſi verò ducatur S T, quam Tangens P N, biſariam & perpendiculariter dividit in N, erit S N altitudo Trianguli S p p, & N T = S N, altitudo Parallelogrammi p q q p, cum ergo baſes & altitudines ſint æquales, (*per* 41. 1. *Elem.*) erit Parallelogramma p q q p duplum Trianguli S p p, ſed eſt p q q p æquale Trapezio t p p t, cum ergo tota ſuperficies D A X P T talibus Trapeziis t p p t conſtet, & ſuperficies A S P X, talibus Triangulis S p p, erit ſuperficies D A X P T dupla ſuperficiei A S P X.



Si verò ducatur A V Tangens in A & chorda A P, erit Parallelogrammum D A V T, duplum Trianguli A S P, baſes enim A D, A S ſunt æquales, altitudo verò Trianguli eſt P O, parallelogrammi A V & P O = A V: ſi ergo D A V T ex D A X P T detrahatur, & A S P ex A S P X, reſiduum primæ figuræ A X P V erit duplum ſegmenti A P X in altera reſidui, hæc verò ſimul ſumpta faciunt Triangulum A V P, vel A O P, quod eſt ergo triplum ſegmenti A P X, & tota figura A O P V ejus ſextuplum, & area Parabolica A o P X, ejus quadruplum, eſt ergo area Parabolica ad Parallelogrammum A O P V ut 4. ad 6. ſive ut 2. ad 3. Q. E. D.

HIS verò circa Conicas Sectiones ad mentem revocatis, ſine quibus ſequentia intelligi nequeunt, probabitur, *vim centripetam quâ corpus tendens ad punctum remotiſſimum Sectionem Conicam deſcribit, eſſe reciprocè ut cubus ordinatim applicatæ ad centrum virium tendentis*; Corpus P moveatur in Sectione conicâ P A F, & vis centripeta agat juxtà directionem parallelarum P S, R S, axi A B applicatarum. Linea P H, Sectionem tangat in P, ſintque Z T, X B, axi parallelæ, & X A ipſa Tangens in A, & ob ſimilia triangula X P B, Z T P, Z Q R, erit.



$PX : BX$ (ſeu AM) $= PR : QT$ & $PX^2 : AM^2 = PR^2 : QT^2$, & (*per Prop.* 16. *lib.* 3. *Conic. Appoll.* quæ eſt *Cor.* 2. *Lem. III. de Conicis*) $PR^2 : QR \times FR = PX^2 : AX^2$, adeòque $PR^2 = \frac{PX^2 \times QR \times FR}{AX^2}$, ergò $PX^2 : AM^2 = \frac{PX^2 \times QR \times FR}{AX^2} : QT^2$; & $AX^2 : AM^2 = QR \times FR : QT^2$; undè $\frac{QT^2}{QR} = \frac{AM^2 \times FR}{AX^2} = \frac{AM^2 \times 2PM}{AX^2}$ ubi

pun-

puncta P, Q, coeunt, & $\frac{QT^2 \times SP^2}{QR} = \frac{AM^2 \times 2PM \times SP^2}{AX^2}$. Eſt ergo (*per coroll. I. & V. prop. VIª.*) in omnibus ſectionibus conicis vis centripeta reciprocè ut $\frac{AM^2 \times PM \times 2SP^2}{AX^2}$, hoc eſt, deleto $2SP^2$, conſtante, reciprocè ut $\frac{AM^2 \times PM}{AX^2}$. Porrò ob ſimilitudinem triangulorum HAX, HMP, eſt $HM : PM = HA : AX = \frac{PM \times HA}{HM}$ & $AX^2 = \frac{PM^2 \times HA^2}{HM^2}$ & $\frac{AM^2 \times PM}{AX^2} = \frac{AM^2 \times HM^2}{PM \times HA^2}$, vis igitur eſt etiam in omni ſectione conicâ reciprocè ut $\frac{AM^2 \times HM^2}{PM \times HA^2}$.

In Parabolâ (*per prop. 35. lib. 1. Conic. Appoll. ſive Cor. 1. Lem. V. de Conicis*) $HA = AM$, & $HM = 2AM$, & (*per prop. 20. lib. 1. Conic. Appoll.* quæ eſt *Theor. I. de Parabola*) AM, adeóque & HM eſt ſemper ut PM^2. Ergò vis centripeta in parabolâ erit reciprocè ut $\frac{4AM^4}{PM \times AM^2}$ ſive ut $\frac{AM^2}{PM}$, hoc eſt, ut $\frac{PM^4}{PM} = PM^3$, hoc eſt, reciprocè ut cubus ordinatæ PM.

In Ellipſi & Hyperbolâ, ſi latus rectum axis AB, dicatur L, erit (*ex prop. 21. lib. 1. Conic. Appoll. ſive Theor. II. de Ellip.*) $PM^2 : AM \times MB = L : AB$ ac proindè $AM = \frac{PM^2 \times AB}{L \times MB}$, & $AM^2 = \frac{PM^4 \times AB^2}{L^2 \times MB^2}$, & $\frac{AM^2 \times HM^2}{PM \times HA^2} = \frac{PM^3 \times AB^2 \times HM^2}{L^2 \times MB^2 \times HA^2}$, undè deletâ ratione conſtanti $\frac{AB^2}{L^2}$, erit vis centripeta reciprocè ut $\frac{PM^3 \times HM^2}{MB^2 \times HA^2}$; verùm (*per prop. 37. lib. 1. Conic. Appoll. ſup. Cor. 2. Lem. V.*) poſito centro ſectionis C, eſt $CM : CA = CA : CH$, adeóque dividendo vel componendo $CM : AM = CA : HA$, ac proindè addendo vel detrahendo terminos ſecundæ rationis è terminis prioris $MB : HM = CA : HA$ & $\frac{HM}{MB \times HA} = \frac{1}{CA}$ & $\frac{HM^2}{MB^2 \times HA^2} = \frac{1}{CA^2}$, quæ eſt quantitas conſtans. Erit igitur etiam in hyperbolâ & Ellipſi adeóque in omni ſectione conicâ vis centripeta reciprocè ut PM^3, ſeu reciprocè ut cubus ordinatæ PM; deletâ nimirum, in expreſſione vis centripetæ ſuprà inventâ, quantitate $\frac{HM^2}{MB^2 \times HA^2}$, conſtante.

PRO-

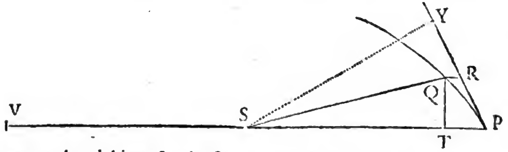
Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.

PROPOSITIO IX. PROBLEMA IV.

Gyretur corpus in ſpirali PQS *ſecante radios omnes* SP, SQ, *&c. in angulo dato: requiritur lex vis centripetæ tendentis ad centrum ſpiralis.*

(f) Detur angulus indefinite parvus *PSQ*, & ob datos om-



nes angulos dabitur ſpecie figura *SPRQT*. Ergo datur ratio $\frac{QT}{QR}$, eſtque $\frac{QT\ quad.}{QR}$ ut *QT*, hoc eſt (ob datam ſpecie figuram illam) ut *SP*. Mutetur jam utcunque angulus *PSQ*, & recta *QR* angulum contactus *QPR* ſubtendens mutabitur (*per lemma* XI.) in duplicatâ ratione ipſius *PR* vel *QT*. Ergo manebit $\frac{QT\ quad.}{QR}$ eadem quæ prius, hoc eſt ut *SP*. Quare $\frac{QTq \times SPq}{QR}$ eſt ut *SP cub.* ideoque (per corol. 1. & 5. prop. VI.) vis centripeta eſt reciprocè ut cubus diſtantiæ *SP*. *Q. E. I.*

(f) 225. Ob omnes angulos datos, dabitur ſpecie figurâ SPQRT, & ipſius latera omnia erunt inter ſe in datâ ſeu conſtanti ratione, ergò datur ratio $\frac{QT}{QR}$, eſtque proindè $\frac{QT}{QR} \times QT$, ut QT hoc eſt, ob datam rationem QT, ad SP, erit $\frac{QT^2}{QR}$, ut SP, mutetur jam utcumque angulus PSQ, & manebit $\frac{QT^2}{QR}$, ut SP. Nam QR, ubi angulus PSR conſtans eſt, dicatur a, & QT dicatur b; ubi verò angulus PSR utcumque mutatur, QR dicatur x, & QT dicatur y, & erit per Lem XI. $a : x = b^2 : y^2$, adeóque $\frac{b^2}{a} = \frac{y^2}{x}$ hoc eſt $\frac{y^2}{x}$ ſeu $\frac{QT^2}{QR}$ eadem manet quæ priùs, nimirùm ut SP. Quoniam autem evaneſcente angulo PSR, ſive coeuntibus punctis Q, P, recta SR, rectæ SP parallela evadit, erit per coroll. 1. & v. prop. VI^æ. vis centripeta reciprocè ut $\frac{QT^2 \times SP^2}{QR}$, ac proindè ſubſtituendo SP, loco $\frac{QT^2}{QR}$, vis centripeta erit reciprocè ut SP^3.

Digitized by Google

Idem aliter.

(t) Perpendiculum SY in tangentem demiſſum, & circuli ſpiralem concentricè ſecantis chorda PV ſunt ad altitudinem SP in datis rationibus; ideoque SP *cub.* eſt ut $SYq \times PV$, hoc eſt (*per corol.* 3. & 5. *prop.* VI.) reciprocè ut vis centripeta.

LEMMA XII.

Parallelogramma omnia circa datæ ellipſeos vel hyperbolæ diametros quaſvis conjugatas deſcripta eſſe inter ſe æqualia.

Conſtat ex conicis. (y)

PROPOSITIO X. PROBLEMA V.

Gyretur corpus in ellipſi: requiritur lex vis centripetæ tendentis ad centrum ellipſeos. (z)

(t) 226. Sit circuli ſpiralem oſculantis in P chorda per centrum virium S ducta PV, demiſſumque in tangentem perpendiculum SY, & ob angulum SYP, rectum, & SPY, datum, dabitur ſpecie triangulum SPY. Ergò datur ratio SY ad SP, & in virium centripetarum formulis SP ſcribi poteſt pro SY. Prætereà datur ratio PV ad SP, nam (210) $SY \times QP = SP \times QT$, adeóque $QP = \frac{SP \times QT}{SY}$; undè ob rationem $\frac{SP}{SY}$ datam, QP ſcribi poteſt pro QT. Verùm (211) $PV = \frac{QP^2}{QR}$, ergò PV, eſt ut $\frac{QT^2}{QR}$. Cùm igitur ex demonſtratis in Prop. IX. $\frac{QT^2}{QR}$, ſit ut SP, erit etiam PV, ut SP, & propterea SP, loco PV, ſubſtitui poteſt in formulis.

227. *Scholion.* Propoſitio IX. facilè demonſtratur etiam per formulam *Hermanni* (214), $v = dp : p^3 dz$; eſt enim in hoc caſu $SP = z$, $SY = p$; & ſi ratio $\frac{SY}{SP}$ data dicatur $\frac{a}{b}$, erit $\frac{a}{b} = \frac{p}{z}$ ergo $az = bp$, & (160) $adz = bdp$, & $\frac{dp}{dz} = \frac{a}{b}$; undè $v = \frac{a}{bp^3}$; hoc eſt, ob datam $\frac{a}{b}$ vis centripeta v, eſt directè ut $\frac{1}{p^3}$, hoc eſt reciprocè ut p^3, aut quia $p = \frac{za}{b}$, v erit ut $\frac{1}{z^3}$ directè, reciprocè autem ut z^3, deletis nimirùm conſtantibus.

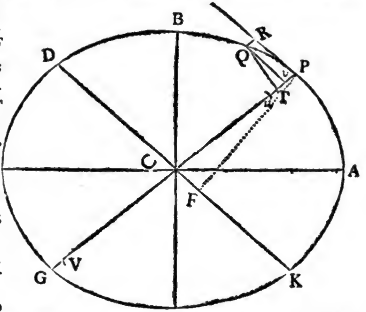
(y) Demonſtratio hujus Lemmatis inferius tradetur ubi nempe NEWTONUS eo Lemmate ad ſolutionem proximi Problematis utetur.

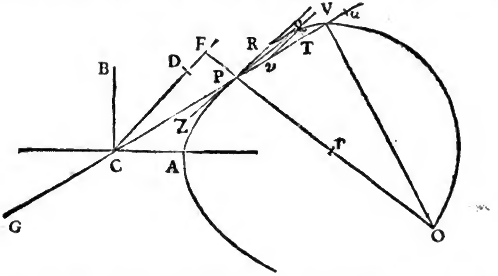
(z) 228. Gyretur corpus in Hyperbolâ, invenietur Lex vis centralis ſpectantis centrum Hyperbolæ ſimili modo, niſi quod vis illa ejus centri reſpectu ſit centrifuga, quoniam centrum Hyperbolæ non eſt intra Hyperbolam conſtitutum, ſed Hyperbola verſus illud convexitatem obvertit; Legatur, ſi lubet, utraque ſolutio hujus Problematis & ad figuram infrà poſitam in quâ Hyperbola deſcripta eſt referatur, liquebit verè dici de Hyperbolâ ea quæ NEWTONUS de Ellipſi ſtatuit.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

Sunto CA, CB ſemiaxes ellipſeos; GP, DK diametri aliæ conjugatæ; PF, QT perpendicula ad diametros; Qv ordinatim applicata ad diametrum GP; & ſi compleatur parallelogrammum $QvPR$, erit ((a) ex conicis) rectangulum PvG ad Qv *quad.* ut PC *quad.* ad CD *quad.* & (ob ſimilia triangula QvT, PCF) Qv *quad.* eſt ad QT *quad.* ut PC *quad.* ad PF *quad.* & conjunctis rationibus, rectangulum PvG ad QT *quad.* ut PC *quad.* ad CD *quad.* & PC *quad.* ad PF *quad.* id eſt, vG ad $\frac{QT\ quad.}{Pv}$ ut PC *quad.* ad $\frac{CDq \times PFq.}{PCq.}$ Scribe QR pro Pv, & (*per lemma* XII. (b)) $BC \times CA$ pro $CD \times PF$





(a) *Ex Conicis*, per 21. 1. lib. *Apoll.* Vide ſup. Lemma IV. *de Conicis.*

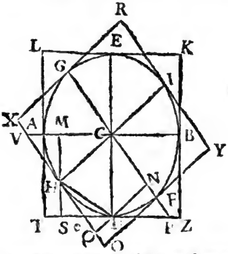
(b) 229. *Parallelogramma omnia circa data Ellipſeos vel Hyperbolæ Diametros quaſvis*

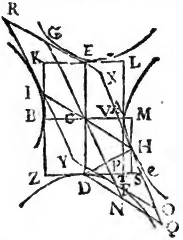
Digitized by Google

nec non (punctis P & Q coeuntibus) $2PC$ pro vG, & ductis extremis & mediis in ſe mutuo fiet $\frac{QT\,quad. \times PCq}{QR}$ æquale $\frac{2BCq \times CAq}{PC}$. Eſt ergo (*per corol.* 5. *prop.* VI.) vis centripeta reciprocè ut $\frac{2BCq \times CAq}{PC}$; id eſt (ob datum $2BCq \times CAq$) reciprocè ut $\frac{1}{PC}$; hoc eſt, directè ut diſtantia PC. *Q. E. I.*

Idem aliter.

In rectâ PG ab alterâ parte puncti T ſumatur punctum u ut Tu ſit æqualis ipſi Tv; deinde cape uV, quæ ſit ad vG ut eſt



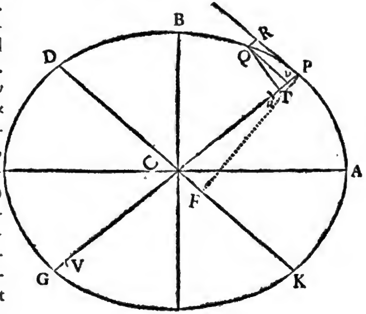


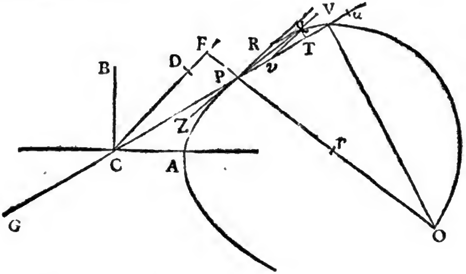
vis conjugatas deſcripta ſunt inter ſe æqualia.

Dem..... Sunto Ellipſeos & hyperbolæ axes E D, A B, & G F, H I, diametri conjugatæ, ductiſque per axium & diametrorum extrema tangentibus, deſcribantur rectangulum L K Z T, & parallelogrammum X R Y O; jungatur D H, & D N ordinatim applicetur ad diametrum G F, erit (*per prop.* 37. *lib.* 1. *Conic* Appoll. *ſup. Cor.* 2. *Lem.* V. de Conicis) P C ad C F, (hoc eſt, parallelogrammum P C V e, ad parallelogrammum æquè altum C H O F) ſicut C F, ad C N; hoc eſt, ſicut idem parallelogrammum C H O F, ad parallelogrammum C H Q N; & ſimiliter V C, erit ad C A, (hoc eſt, parallelogrammum P C V e, ad æquè altum, CATD) ſicut CA ad CM, hoc eſt, ſicut idem CATD, ad rectangulum CMSD, ſeu ad prædictum parallelogrammum CHQN; nam rectangulum C M S D, duplum eſt trianguli CHD, ejuſdem baſis C D ejuſdemque altitudinis MC, & parallelogrammum CHQN eſt etiam ejuſdem trianguli duplum, cum ſit utriuſque baſis communis HC & eadem altitudo ob parallelas H C, Q N; ac proindè C M S D = C H Q N. Cum igitur ſit P C V e : C H O F = C H O F : CHQN, & PCVe:CATD=CATD:CHQN, neceſſe eſt ut ſit CATD = CHOF, quarè rectangulum LKZT, quadruplum rectanguli CATD, æquale eſt parallelogrammo X R Y O, etiam quadruplo parallelogrammi CHOF. *Q. E. D.*

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

DC quad. ad *PC qu.* Et quoniam ex conicis eſt *Qv quad.* ad *PvG* ut *DC quad.* ad *PC quad.* erit *Qv quad.* æquale $Pv \times uV$. Adde rectangulum *uPv* utrinque, & prodibit quadratum chordæ arcûs[c] *PQ* æquale rectangulo *VPv*; [d] ideoque circulus, qui tangit ſectionem conicam in *P* & tranſit per punctum *Q*, tran-



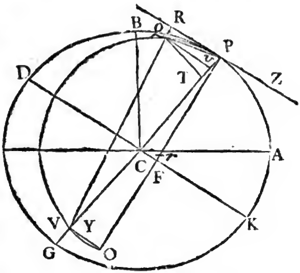


(c) *Adde Rectangulum uPv utrinque, & prodibit quadratum chordæ arcûs PQ, æquale rectangulo VP × Pv.* Nam (per conſtruct.) eſt quadratum chordæ arcus $PQ = QT^2 + PT^2$, ſed eſt $QT^2 = Qv^2 - Tv^2$ ſive quia $Tv = Tu$ eſt $QT^2 = Qv^2 - Tu^2$, ideo quadratum chordæ arcus $PQ = Qv^2 - Tu^2 + PT^2$, eſt verò $PT^2 - Tu^2 = PT + Tu \times PT - Tu$ ſive $PT - Tv = Pu \times Pv$, ergo quadratum chordæ arcus $PQ = Qv^2 + Pv \times Pu$. Quod ſi Rectangulo $Pv \times uV$ addas idem rectangulum $Pv \times Pu$, eſt $Pv \times Vu + Pv \times uP = Pv \times VP$, erat verò $Qv^2 = Pv \times uV$, ergo $Qv^2 + Pv \times Pu$ *ſive quadratum chordæ arcus PQ erit æquale Rectangulo Pv × VP, ſive VPv.*

(d) *Ideòque circulus qui tangit ſectionem in P, & tranſit per punctum Q, tranſibit etiam per punctum V*; nam ductis circuli illius chordis QP, QY, angulus

ſit etiam per punctum V. Coeant puncta P & Q, & ratio uV ad vG, quæ eadem eſt cum ratione DCq ad PCq, fiet ratio PV ad PG ſeu PV ad $2PC$; ideoque PV æqualis erit $\frac{2\,DCq}{PC}$. Proinde vis, quâ corpus P in ellipſi revolvitur, erit reciprocè ut $\frac{2\,DCq}{PC}$ in PFq (per corol. 3. prop. VI.) hoc eſt (ob datum $2\,DCq$ in PFq) directè ut PC. *Q. E. I.*

Corol. 1. Eſt igitur vis ut diſtantia corporis à centro ellipſeos: (ᵉ) & viciſſim, ſi vis ſit ut diſtantia, movebitur corpus in el-



lus $PQv = QPR$, (ob parallelas Qv, PR) $= QYP$ (*per* 32. 3. *Elem.*) ac proindè duo triangula PQv, PYQ, quæ communem habent angulum, QPY, & æquales PQv, PYQ, ſimilia ſunt, & $Pv : QP = QP : PY$. Undè $PY = \frac{QP^2}{Pv}$; quarè cum ſit $Pv \times PV = QP^2$, ideoque $PV = \frac{QP^2}{Pv}$ erit $PV = PY$.

230. *Coroll.* 1 . . . : Ducantur circuli ſectionem conicam oſculantis diameter PO, & chorda VO, & ob ſimilitudinem triangulorum PFC, PVO, erit $PF : PC = PV : PO = \frac{PC \times PV}{PF}$, ſed per ſecundam demonſtrationem Newtonianam $PV = \frac{2\,DC^2}{PC}$, ergò $PO = \frac{2\,DC^2}{PF}$, ac proindè radius oſculi $Pr = \frac{1}{2} PO = \frac{DC^2}{PF}$, & $PF : DC = DC : Pr$. Quarè datis diametris conjugatis eorumque angulo PCD, facilè invenitur radius circuli ſectionem conicam oſculantis in diametri cujuſvis extremo.

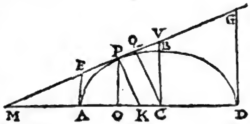
231. *Coroll.* 2 . . . Datis radio oſculi Pr, ſemidiametro ſectionis conicæ PC, & poſitione tangentis PR, ſeu angulo PCD, diametrorum conjugatarum, datur altera ſemidiameter conjugata DC, & deſcribi poteſt ſectio. His enim quæ diximus datis, datur quoque perpendicularis PF, ac proindè DC, media proportionalis inter Pr, & PF, (230) datas. Datis autem diametris conjugatis earumque angulo, ſectio conica deſcribi poteſt, ut notum eſt ex Sectionum Conicarum elementis.

232. *Coroll.* 3. Hinc etiam problema V. aliter ſolvitur. Cùm enim ſit vis centralis (212) ut $\frac{CP}{Pr \times PF^3}$, ſitque $PF = \frac{BC \times CA}{CD}$, (*per Lem.* XII.) & $Pr = \frac{DC^2}{PF}$ (230). His valoribus in formulà $\frac{CP}{Pr \times PF^3}$, ſubſtitutis, ea fit $\frac{CP}{BC^2 \times CA^2}$ hoc eſt, ob conſtantem quantitatem $BC^2 \times CA^2$, vis eſt directè ut PC.

(ᵉ) *Et viciſſim ſi vis ſit ut diſtantia, movebitur corpus in Ellipſi centrum habente in Centro Virium &c.*, ut hæc converſa demonſtretur ſequentia ſunt præmittenda.

Digitized by Google

lipſi centrum habente in centro virium, aut forte in circulo, in quem utique ellipſis migrare poteſt,

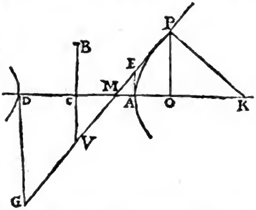


233. *Lemma* I. Ducatur in puncto contactus perpendicularis in Tangentem, ad axem terminatam, & à Centro ducatur ipſi Parallela ad Tangentem uſque, harum linearum factum erit æquale quadrato ſemi-Axis.

Ex P ducatur perpendicularis in Tangentem PK, ducatur ordinata PO perpendicularis in axem, & in C, ducatur CQ, Parallela, P, & CV, parallela PO, triangula POK CQV, erunt ſimilia, ergo erit $PO:PK = CQ:CV$, ergo $PK \times CQ = PO \times CV$. ſimilia etiam ſunt Triangula CMV, OMP, erit ergo $CM:MO = CV:PO$; ſed (*per Cor.* 1. *Lem.* V. de Conicis) eſt $CM = \frac{CA^2}{CO}$ & (*per Cor.* 3. *ejuſdem Lem.*) $MO = \frac{AO \times DO}{CO}$ & (*per Theor.* II. tam de Hyp. quàm de Ellip.) eſt $CA^2 : AO \times DO = CB^2 : PO^2$ ergo eſt $CM:MO = \frac{CA^2}{CO} : \frac{AO \times DO}{CO} = CA^2 : AO \times DO = CB^2 : PO^2 = CV:PO$, ideoque $CB^2 \times PO = PO^2 \times CV$ utrumque vero dividendo per PO eſt $CB^2 = PO \times CV$, erat verò $PK \times CQ = PO \times CV$. Ergo $PK \times CQ = CB^2$. *Q. E. D.*

234. *Lemma* II. Sit PM, Sectionis Conicæ Tangens, CA axis, CB ejus conjugatus, in utroque axeos primæ Vertice erigantur perpendiculares AE, DG, ad Tangentem uſque, factum earum $AE \times DG$, erit æquale quadrato ſemi-Axis.

Demonſt... Ducta PO ordinata ad axem & CV ad Tangentem uſque ipſi Parallela, erit (*per Cor.* 2. *Lemm.* V. *De Conicis*) $CO : CA = CA : CM$. Dividendo verò, eſt $CA - CO$ vel $CO - CA$, ſive AO ad CA ſive CD, ſicut $CM - CA$ vel $CA - CM$, ſive MA ad CM, hoc eſt $AO:CD = MA:MC$, jungendo terminos primæ rationis terminis ſecundæ hæc non mutatur, eſtque $MA:MC = MA + AO$ (ſive MO) : $MC + DC$, (ſive MD) hoc eſt alternando $MA:MO = MC:MD$ ſed ob parallelas eſt $MA:MO = AE:PO$ & $MC:MD = CV:DG$ ergo eſt $AE:PO = CV:DG$ & eſt $AE \times DG = PO \times CV$ ſed per Lemma præcedens eſt $PO \times CV = CB^2$. Ergo eſt $AE \times DG = CB^2$. *Q. E. D.*

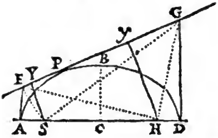


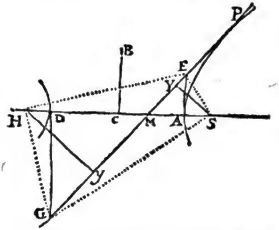
235. *Lemma* III. Ducantur à focis perpendiculares in Tangentem Sectionis Conicæ, earum factum erit æquale quadrato ſemi-Axis.

Demonſt.... Sint illæ perpendiculares SY, Hy, ducantur in utroque vertice axeos tranſverſæ lineæ AE, DG, perpendiculares axi uſque ad Tangentem, & ducantur à focis S & H, ad earum extremitates lineæ SE SG & HG HE.

Triangula EAS, SDG, EHG, GHy ſimilia inter ſe, ut & Triangula GDH, HAE; GSE, ESY: Primò, ſimilia ſunt Triangula EAS, SDG quia latera EA & AS, SD & DG circa angulos rectos A & D poſita proportionalia ſunt, nam (*per Lemma præced.*) eſt $EA \times DG = CB^2$, & per naturam focorum (& *per* 5. *vel* 6. 2. *Elem.*) eſt $AS \times SD = CB^2$ ergo eſt $EA \times DG = AS \times SD$ ideoque $EA : AS = SD:DG$; Eàdem ratione probatur Triangula GDH, HAE eſſe ſimilia, ob latera proportionalia GD & TH, HA & AE circa angulos rectos A & D poſita, eſt enim ut prius $EA \times DG = CB^2 = DH \times HA$ ideoque $DG : DH = HA : EA$.

Secundò Triangula SDG, EGH ſunt ſimilia, latera enim GH & HE, GD & DS



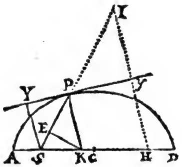


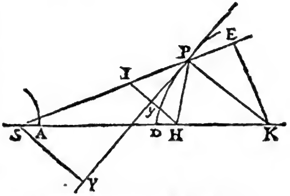
DS circà angulos SDG & EHG poſita ſunt proportionalia, nam ob triangula ſimilia GDH, HAE, eſt $GH:HE = GD:HA$, ſed $HA = DS$, ergo eſt $GH:HE = GD:DS$; Præterea anguli SDG & EHG ſunt ambo recti, SDG quidem per conſtructionem, angulus verò EHG eſt in Ellipſi complementum ad duos rectos angulorum GHD & EHA, in Hyperbolâ eorum ſumma, cum autem illi duo anguli GHD & EHA pertineant ad Triangula Rectangula ſimilia, ſimul ſumpti faciunt Rectum, eorumque complementum ad duos rectos eſt recto æquale, ergo Angulus EHG eſt rectus; Eodem modo probatur Triangula HAE, GSE eſſe ſimilia, ob latera proportionalia SE & GS, AE & HA, circa angulos HAE & GSE rectos poſita; nam ob Triangula ſimilia EAS, SDG eſt $ES:GS = AE:DS$ ſive HA; & HAE eſt rectus per conſtructionem & GSE in Ellipſi eſt complementum ad duos rectos angulorum GSD & EAS, & in Hyperbola eorum ſumma, illi verò Anguli pertinent ad Triangula Rectangula ſimilia &c.

Tertio EGH eſt ſimile HGy (*per* 8. 6. *El.*) & eadem ratione eſt GSE ſimile ESY.

Ex quibus liquet Triangula EAS, GHy eſſe ſimilia ut & Triangula GSE, ESY; ex ſimilitudine Triangulorum EAS, GHy eſt $ES:GH = EA:Hy$, & ex ſimilitudine Triangulorum GDH & ESY eſt $ES:GH = SY:GD$ ergo eſt $EA:Hy = SY:GD$ & $EA \times GD = Hy \times SY$ ſed $EA \times GD = CB^2$ *per Lemma præcedens*, ergo etiam $Hy \times SY = CB^2$. *Q. E. D.*

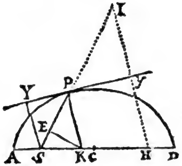
236. *Lem.* IV. Ducatur à foco S linea SP ad punctum contactûs & ex puncto P contactus ducatur perpendicularis in Tangentem quæ ſecet axem in K, & ex puncto K ducatur in lineam SP perpendicularis KE, pars PE lineæ PS erit æqualis ſemilateri recto.

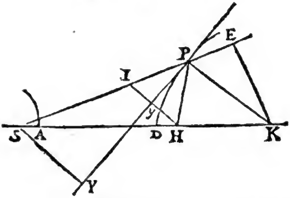




237. Producatur vel ſecetur SP in I ut ſit $SI = AD$ ſive Axi, ducaturque ex altero foco linea HI quæ dividitur biſariam & perpendiculariter per Tangentem in y (*per Theor.* III. *de Hyp.* & IV. *de Ellip.*) ergo $HI = 2Hy$ & eſt HI parallela PK, ergo Triangula PSK ISH ſunt ſimilia, eſtque $PS:PK = SI:IH$ ſive $2Hy$, ſed ob Parallelas SY, F K, & angulos rectos Y & E ſimilia ſunt Triangula PSY, PKE, ergo eſt $PS:PK = SY:PE$, eſt ideo $SI:2Hy = SY:PE$ & $PE = 2Hy$

De Motu Corporum. Liber Primus.

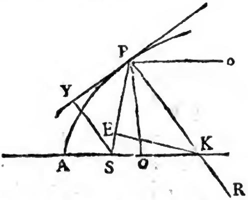




$= \frac{2Hy \times SY}{SI}$ ſed $Hy \times SY = CB^2$ & $SI = 2AC$, ergo $PE = \frac{2CB^2}{2AC}$ & $2PE = \frac{4CB^2}{2AC}$ ſed Latus Rectum L eſt $\frac{4CB^2}{2AC}$, ergo $2PE = L$, ſive PE eſt dimidium lateris Recti.

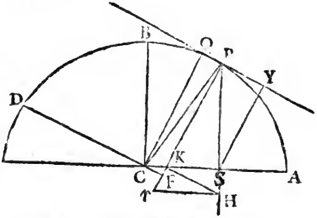
237. 1. *Coroll.* Ex eo quod eſt $PS : PK = SY : PE$ ſive $\frac{1}{2}L$, eſt $SY = \frac{L \times PS}{2PK}$ & $PK = \frac{L \times PS}{2SY}$.

238. 2. *Cor.* Hoc Lemma cum ſuo Corollario de Parabola etiam verum eſt, ſed aliter demonſtratur, ducta ordinata PO Triangula PKO, PKE ſunt æqualia, propter Angulos rectos in O & E; latus PK commune, & angulum PKO angulo KPE æqualem, ducto enim Diametro Po, erit OPK æqualis PKO ob Parallelas AK & Po ſed oPK eſt etiam æqualis angulo KPE quia perpendicularis dividit bifariam angulum SPo (per *Theor.* III. *de Parab.*) ergo angulus PKO = KPE, & (per 26. 1. *Elem.*) Triangulum PKO eſt æquale Triangulo PKE ideoque PE = KO,



ſed KO eſt æqualis ſemilateri recto (*per Theor.* III de parab.) ergo & PE.

239. *Lemma* V. In omni ſectione conicâ cujus focus S, PY, tangens in P, SY & PK, tangenti perpendiculares, *L*, latus rectum, eſt radius oſculi $Pr = \frac{4PK^3}{L^2} = \frac{L \times SP^3}{2SY^3}$...



Dem. ⁝ ⁝ ⁝ Sit APB ellipſis cujus ſemiaxes AC, BC, ſemidiametri conjugatæ PC, DC, ac proindè DF, tangenti PY parallela, atque adeò PF, QC, tangenti perpendiculares æquales ſunt. Eſt (*per Lem. XII. Newt.*) $CD : BC = AC : PF$, & $CD^2 : BC^2 = AC^2 : PF^2$, ideoque eſt $CD^2 = \frac{BC^2 \times AC^2}{PF^2}$. Et quia $BC^2 = CQ \times PK$ ſive $PF \times PK$ (233.) eſt $CD^2 = \frac{PF \times PK}{PF^2} \times AC^2 = \frac{PK \times AC^2}{PF}$; ſed eſt $Pr = \frac{CD^2}{PF}$ (230.)

ergo

Digitized by Google

ergo eſt $Pr = \frac{PK \times AC^2}{PF^2}$; eſt autem $AC : BC = BC : \frac{1}{2} L$, ergo $BC^2 = \frac{1}{2} L \times AC$, ideoque $PF \times PK = \frac{1}{2} L \times AC$, ergò $PF = \frac{L \times AC}{2PK}$ & $PF^2 = \frac{L^2 \times AC^2}{4PK^2}$ idque ſubſtituatur in valore Pr mox reperto erit $Pr = \frac{4PK^3}{L^2}$, & quia $PK = \frac{L \times SP}{2SY}$ (237.) erit $\frac{4PK^3}{L^2} = \frac{L \times SP^3}{2SY^3} = Pr$. *Q. e.* 1[um].

Idem eodem prorsùs modo demonſtratur in hyperbolâ. *Q. e.* 2[um].

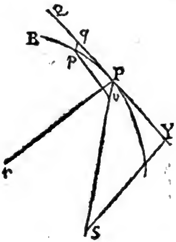
In Ellipſi creſcente focorum diſtantiâ manet $Pr = \frac{4PK^3}{L^2} = \frac{L \times SP^3}{2SY^3}$, adeóque idem etiam verum eſt cum focorum diſtantia infinita evadit, ſeu cùm Ellipſis in Parabolam mutatur. *Q. e.* 3[um].

240. *Coroll.* 1 . . . Ex his facillima oritur conſtructio pro determinando radio curvaturæ in quâvis ſectione conicâ. Ex K, enim ſuper PK, erigatur perpendicularis KH, cum PS concurrens in H, ex H erigatur ſuper PH perpendicularis Hr, erit Pr, radius curvaturæ. Nam ob angulos rectos PKH, PHr, & lineas PK, SY, parallelas eſt $SP : SY = Pr : PH = PH : PK$, atquè indè $SY^2 : SP^2 = PK : Pr$; adeóque $Pr = \frac{PK = SP^2}{SY^2}$ ſed $SY = \frac{L \times SP}{2PK}$ (237), ergò $Pr = \frac{4PK^3}{L^2}$, ac proindè Pr eſt radius oſculi (239.).

241. *Coroll.* 2 . . . . Quoniam in verticibus ſectionum conicarum principalibus $SP = SY$, erit ibi $Pr = \frac{L \times SP^3}{2SY^3} = \frac{L}{2}$, ſeu radius oſculi æqualis dimidio lateris recti principalis.

242. *Theor.* Datis in puncto P, vis centripetæ quâ corpus curvam PpB deſcribit quantitate abſolutâ, vis illius directione PS, velocitate corporis, & poſitione tangentis PQ, datur curvæ PpB curvatura in P, ſeu radius oſculi Pr.

Dem . . . Sit curvæ PpB, & circuli oſculatoris arcus infiniteſimus Pp, & quoniam velocitas corporis P revolventis finita ſupponitur, vis centripeta conſtans eſt, & illius directio ſibi parallela per arcum Pp,



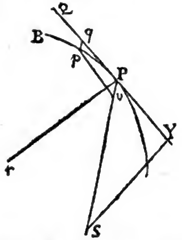
adeòque arcus ille eſt portio parabolæ cujus tangens PQ, & diameter PS (*ex not.* 40*â*.) Quoniam autem vis centripetæ quantitas abſoluta in P, data eſt, datumque proindè ſpatium quod corpus vi illâ conſtante, dato tempore percurreret, & prætereà corporis P velocitas, ac tangentis PQ poſitio data ſunt, data eſt ratio qp ſive Pv ad Pq ſive pv, data ergo eſt parabola quam corpus P deſcriberet, ſi vis centripeta eadem maneret & directionem haberet lineæ PS perpetuò parallelam. Cùm igitur datus ſit radius circuli parabolam datam in dato puncto oſculantis (239.) datur Pr, radius oſculi in puncto *P*. *Q. e. d.*

243. *Coroll.* Hinc datis in puncto P, curvaturâ ſeu radio oſculi Pr, poſitione tangentis PQ, velocitate corporis, & vis centripetæ directione PS, datur vis illius quantitas abſoluta in P; nam propter datas poſitionem Tangentis, & vis directionem, datur ratio SP ad SY & SP^3 ad SY^3, ſive $\frac{SP^3}{SY^3}$ & propter datum $Pr = \frac{L \times SP^3}{2SY^3}$ datur $\frac{L}{2}$ ſive *L* Latus rectum principale Parabolæ cujus arcus Pp eſt portio, PS Diameter & PQ Tangens unde datur tota Parabola & Latus rectum Diametri PS; Denique cum data ſit velocitas corporis in P datur lineola Pq, vel pv dato tempore deſcripta, datur ergo abſciſſa Pv ſive qp quæ eſt vis centripetæ quantitas abſoluta.

Datis verò in P, vis centripetæ quantitate abſolutâ, vis illius directione PS, poſitione tangentis PQ, radio oſculi Pr, ſive datâ curvaturâ, datur velocitas corporis in P;

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.

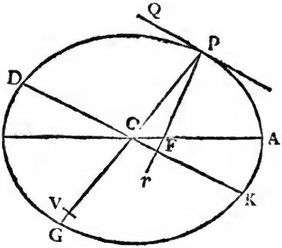


& generatim ſi ex his quinque, nimirum; vis centripetæ quantitate abſolutâ, illius directione, velocitate corporis, poſitione tangentis & curvaturâ, quatuor data fuerint, quintum determinatum eſt.

244. *Theor.* Corpus P, circà centrum virium S datum revolvendo, curvam PpB deſcribat, ſintque data, vis centripetæ quantitas abſoluta in puncto P, data lex ſecundum quam in variis à centro S diſtantiis vis centripeta agit, poſitio tangentis PQ, & curvatura in P, determinata ac unica eſt curva PpB, quam corpus P, circà centrum virium S, poteſt deſcribere... *Dem*... Quoniam datur centrum virium S & punctum P, datur quoque poſitio rectæ PS, hoc eſt, directio vis centripetæ, ac proindè ex cæteris etiam datis (243.) datur velocitas quâ corpus in puncto P movetur, ſed datis in puncto P, vis centripetæ quantitate abſolutâ, poſitione tangentis ſeu rectæ ſecundùm quam projicitur corpus, velocitate projectionis determinatur proximum punctum p, tangentis in eo puncto p poſitio, corporis P in eo velocitas, ut & novâ diſtantiâ à centro pS, ſed datâ lege vis centripetæ in variis à Centro diſtantiis, datur iterum in puncto novo p, vis centripeta, unde proximum punctum etiam determinabitur, ex his ergo datis omnia puncta curvæ PpB, ſucceſſivè determinantur; ergo data ac unica eſt curva quam corpus P, his datis deſcribere poteſt. *Q. e. D.*

Coroll. Iiſdem manentibus, ſi deſcribatur nova curva quæ curvam PpB quam corpus P deſcribit oſculetur in P, quæque proindè eandem habet tangentem PQ, ut potè radio oſculi PR, perpendicularem; impoſſibile eſt ut datis iis quæ numero 244. poſuimus, corpus P, hanc novam curvam a priori diverſam deſcribat, hoc eſt, verba Newtoni ferè uſurpando, orbes duo ſe mutuò oſculantes eâdem vi centripetâ deſcribi non poſſunt.

245. Hiſce poſitis tandem probabimus quòd ſi vis centripeta ſit ut diſtantia à centro, movebitur corpus in Ellipſi centrum habente in centro virium, aut fortè in circulo in quem Ellipſis migrat focis coeuntibus.

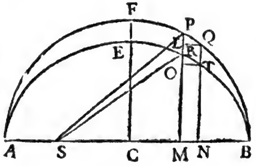


Data ſint centrum virium C, & vis centripetæ quantitas abſoluta, data à centro diſtantia CP, & corpus datâ cum velocitate ſecundùm directionem datam rectæ PQ projiciatur, erit PQ tangens curvæ deſcribendæ. Si fuerit CP ad tangentem PQ normalis, & velocitas quâ corpus P, projicitur æqualis velocitati quam idem corpus ſolâ vi centripetâ, ut eſt in P, conſtante ſollicitatum acquireret, cadendo per dimidium radium PC, curva deſcribenda erit circulus cujus centrum C, & radius CP (201.) ſi verò talis non fuerit velocitas projectionis, corpus P, aliam curvam deſcribet, in quâ tangens PQ, non ſemper erit ad radium vectorem CP perpendicularis, cùm hæc ſit ſolius circuli proprietas, ut notum eſt. Sit ergò PQ ad radium vectorem CP obliqua, per centrum C ducatur recta CK, ipſi PQ paral-

Corol. 2. ([d]) Et æqualia erunt revolutionum in ellipſibus univerſis circum centrum idem factarum periodica tempora. Nam tempora illa in ellipſibus ſimilibus æqualia ſunt (*per corol.* 3. & 8. *prop.* IV.) in ellipſibus autem communem habentibus axem majorem ſunt ad invicem ut ellipſeon areæ totæ directè, & arearum particulæ ſimul deſcriptæ inversè; id eſt, ut axes minores direc-

parallela, & radio oſculi P r dato (242) deſcribatur circulus rectam P C interſecans in V; tùm ſumatur C K, media proportionalis inter C P, & $\frac{1}{2}$ P V, & ſemidiametris conjugatis C P, C K, deſcribatur ellipſis P D G A, ea erit orbita quam corpus *P*, deſcribet... *Dem*.... Ellipſis P D G A, deſcribi poteſt per corpus aliquod *A* ſollicitatum vi aliquâ centripetâ ad centrum C tendente, quæque ſit ſemper ut diſtantia ab illo centro C P, (prop. X.) ponamus velocitatem corporis *A*, eandem eſſe ac velocitatem projectionis corporis *P*, & ex datâ velocitate corporis illius *A*, directione tangentis P Q directione vis C P, & curvaturâ Ellipſis in P, datur vis centripetæ quantitas abſoluta (242.) quâ corpus *A*, in Ellipſi motum retinetur in puncto P, ſed eadem eſt ellipſis illius, & orbitæ quam corpus *P* deſcribit, curvatura; nam P r eſt radius circuli Ellipſim P D G A oſculantis in P, (per conſt. & ſecun. demonſt. Newt. Prop. X.) eſt quoque radius circuli curvam quam corpus *P* deſcribit oſculantis in eodem puncto P, (per conſtr.) adeóque Ellipſis P D G A, & orbita quam corpus *P* deſcribit eandem habent curvaturam in puncto P, præterea recta P Q, orbitæ tangens cum ſit diametro C K parallela ellipſim tangit in *P*, idem eſt orbitæ & ellipſis centrum C, idem punctum *P*, eadem velocitas projectionis, eadem lex vis centripetæ ac proindè eadem vis illius quantitas abſoluta in puncto P, tam in ellipſi quam in orbitâ à corpore *P* deſcribendâ; cum igitur iis datis corpus *P* unicam curvam deſcribere poſſit & reverâ ellipſim P D G A, poſſit deſcribere, ſi vis centripeta ſit ut diſtantia à centro (nec circulus deſcribatur) corpus movebitur in Ellipſi centrum habente in centro virium. *Q. e. D.*

246. Si vis centrifuga ſit ut diſtantia à centro, eodem modo d monſtratur corpus moveri in hyperbolâ centrum habente in centro virium.

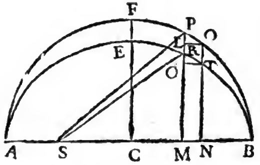


([d]) 247. Ut demonſtretur *æqualia eſſe revolutionum circa idem centrum factarum periodica tempora in Ellipſibus univerſis iſta ex Conicis ſunt repetenda.*

Lemma..... Area circuli A F B, cujus radius F C æquatur ſemiaxi A C ellipſis A E B, eſt ad hujus Ellipſeos aream ut ſemiaxis A C, ſeu F C, ad alterum ſemiaxem E C... *Dem*... Axis A B, diviſus intelligatur in particulas innumeras æquales lineolæ M N, & per ſingula diviſionum puncta erigantur rectæ PM, QN, axi perpendiculares. Quoniam ex circuli & Ellypſis naturâ, $FC^2 : QN^2 = AC \times CB : AN \times NB = EC^2 : TN^2$, erit $FC : QN = EC : TN$, & $FC : EC = QN : TN$; verùm ejuſdem baſis rectangula NL, NO, ſunt ut altitudines NQ, NT, ac proindè $NL : NO = FC : EC$; ergò ultima ſumma rectangulorum evaneſcentium ut N L, ad ſummam rèctangulorum evaneſcentium ut N O, hoc eſt, area circuli ad aream Ellipſis (*per Lem.* IV.) ra-

directè, & corporum velocitates in verticibus principalibus inversè; hoc eſt, ut axes illi minores directè, & ordinatim applicatæ ad idem punctum axis communis inversè; & propterea (ob æqualitatem rationum directarum & inverſarum) in ratione æqualitatis.

Scho-



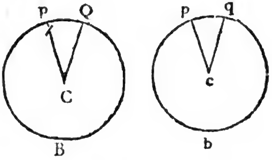
tionem habet ſemiaxis F C, ad alterum ſemiaxem E C. Q. e. D.

248. *Coroll.* 1 .... Idem eodem prorſùs modò demonſtratur, ſi A F B fuerit Ellipſis communem axem A B, habens cum Ellipſi A E B. Et generatim duæ quævis figuræ A F B, A E B, quarum ſemiordinatæ Q N, T N, ſunt in datâ ratione & quarum eſt communis diameter A B, ſunt inter ſe in ratione datâ ordinatarum Q N, T N.

249. *Coroll.* 2. Area circuli cujus diameter eſt medius proportionalis inter duos Ellipſis axes æqualis eſt areæ Ellipſis. Nam ſit E C : R = R : F C, & radio R, deſcribatur circulus, illius circuli area, erit ad aream circuli A F B, ut R^2 ad FC^2, adeóque ut E C ad F C; Quarè cum Ellipſis A E B, eandem habeat rationem ad circulum A F B (247), manifeſtum eſt aream circuli radio R, deſcripti æqualem eſſe areæ Ellipſis A E B.

250. *Coroll.* 3 ... Quoniam R^2 = F C × E C, & areæ circulorum ſunt ut radiorum quadrata, erunt areæ Ellipſium ut axium rectangula.

251. *Coroll.* 4 .... Patet etiam in Ellipſibus vel ellipſi & circulo aut etiam in quibuslibet curvis quarum ordinatæ Q N, T N, datam habent rationem, & quarum eſt diameter communis A B, aream MRB, eſſe ad aream correſpondentem M P B, ut eſt E C, ad F C, ſeu ut R M ad P M; ſed ductis ex quocumque diametri puncto S, rectis S P, S R, eſt etiam triangulum S M R, ad triangulum S M P, ut M R ad M P, ob communem utriuſque trianguli altitudinem M S; ergò ſector S B R, eſt ad ſectorem S B P, in ratione datâ E C, ad F C.

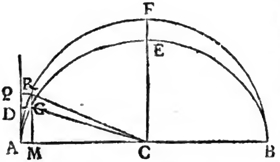


252. *Theor.* Corpora duo P, p, circa virium centra C, c, revolvendo, orbitas P Q B, p q b, deſcribant; tempus periodicum in orbitâ P Q B, eſt ad tempus periodicum in alterâ orbitâ p q b, ut area P Q B P, ad aream p q b p, directè & ſectores P C Q, p c q, ſimul deſcripti inversè .... *Dem*... ob æquabilem arearum circà centra C, c, deſcriptionem (*prop.* I.) tempus periodicum T, in orbe P Q B, eſt ad tempus t, quo deſcribitur ſector P C Q, ut area P Q B P, ad ſectorem P C Q, & ſimiliter tempus t, quo deſcribitur ſector p q c, eſt ad tempus periodicum θ, in orbe p q b, ut ſector p c q, ad aream p q b p, hoc eſt T : t = P Q B P area : P C Q, & t : θ = p c q : p q b p area, unde per compoſitionem rationum & ex æquo T : θ = P Q B P × p c q : p q b p × P C Q. *Q. e. D.*

253.

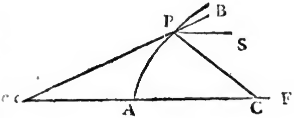
Scholium.

Si ellipſis centro in infinitum abeunte vertatur in parabolam, corpus movebitur in hac parabola; & vis ad centrum infinitè diſtans jam tendens evadet æquabilis. Hoc eſt theorema *Galilæi.* (e) Et ſi coni ſectio parabolica (inclinatione plani ad conum ſectum mutata) vertatur in hyperbolam, movebitur corpus in hujus



253. Si corpora duo Ellipſes A E B; A F B, quarum eſt axis communis A B, deſcribant, viribus ad centrum Ellipſium C tendentibus, tempora periodica erunt æqualia.... *Dem*.... Sint arcus A R, A G, infiniteſimi eodem tempore deſcripti, A Q tangens ad verticem A, Q R, D G, axi A B, parallelæ, & quoniam vires centrales ſunt ut Q R, D G (prop. VI.) & ob communem diſtantiam à centro A C, æquales ſunt vires, ſeu eadem vis (*prop.* X.) erit Q R = D G, ſectores verò A C G, A C R, ſunt ut G M, R M, ſeu E C, F C, (251), & areæ Ellipſium A E B, A F B, ſunt etiam ut E C, F C, (247. 248.) quarè cum tempora periodica in illis Ellipſibus ſint ut areæ A E B A F B directè & ſectores A C G, A C R, inversè (252.) erunt eædem ut E C ad F C directè, & E C ad F C inversè, hoc eſt, ut E C × F C ad F C × E C, ac proindè in ratione æqualitatis. *Q. e. D.*

254. His poſitis facilè *demonſtratur æqualia eſſe revolutionum in Ellipſibus univerſis circum centrum idem factarum periodica tempora.* Nam duæ quævis ellipſes circà idem centrum deſcriptæ dicantur A, & B, deſcribatur tertia Ellipſis C, ſimilis Ellipſi A, & axem unum communem habens cum Ellipſi B, tempora periodica in Ellipſibus ſimilibus A & C, ſunt æqualia (*per corol.* 3. & 8. *prop.* IV. *Newt.*) & tempora periodica in ellipſibus C, & B, axem alterum communem habentibus ſunt etiam æqualia (253.) tempora igitur periodica in Ellipſibus quibuſvis A & B ſunt æqualia *Q. e. D.*



(e) 255. *Et ſi coni ſectio parabolica (inclinatione plani ad conum ſectum mutata), vertatur in hyperbolam movebitur corpus in hujus perimetro vi centripetâ in centrifugam versâ.* Cùm enim Ellipſis centrum C, à vertice A, in plagam F abit, vis centripetæ directio eſt per lineas P C, P F, à puncto P, ad centrum, & ubi infinita evadit diſtantia P C, atque P S, ad centrum ducta axi parallela fit, Ellipſi in parabolam mutatâ, directio eſt à puncto P, ad S, ſecundum lineam P S; mutatâ in Hyperbolam parabolâ, & centro ad alteram verticis A partem tranſlato in c, vis centralis directio eſt ſecundùm lineam P B, à P ad B, hoc eſt, à centro C, ad P c, adeòque in centrifugam verſa (228.)

hujus perimetro vi centripetâ in centrifugam verſâ. Et quemadmodum in circulo vel ellipſi ſi vires tendunt ad centrum figuræ in abſciſsâ poſitum, hæ vires augendo vel diminuendo ordinatas in ratione quâcunque datâ, vel etiam mutando angulum inclinationis ordinatarum ad abſciſſam, ſemper augentur vel diminuuntur in ratione diſtantiarum à centro, ſi modo tempora periodica maneant æqualia; (f) ſic etiam in figuris univerſis ſi ordinatæ augeantur vel diminuantur in ratione quâcunque datâ, vel angulus ordinationis utcunque mutetur, manente tempore pe-

256. Ex quibus ſequitur hæc generalis Lex; Si corpus revolvatur in ſectione conicâ, & vis centralis tendat ad ſectionis centrum, aut à centro, vis illa erit directè ut diſtantia à centro, & contrà ſi vis fuerit ut diſtantia à centro, corpus movetur in ſectione conicâ. (245. 246.)

(f) 257. *In figuris univerſis, ſi ordinatæ augeantur vel diminuantur in ratione datâ vel angulus ordinationis mutetur, manente tempore Periodico, vires augentur vel minuuntur in ratione diſtantiarum à Centro.* Hujus veritas ſequentium Lemmatum ope patebit.

Lemma. In figurâ quâvis A Q D, cujus diameter A D, ad hanc diametrum ordinatæ Q E, N G, augeantur vel minuantur in ratione datâ Q E, ad P E, vel ad angulum quemvis datum P E D, inclinentur, novaque deſcribatur curva A P D, per novarum ordinatarum extrema tranſiens, ſitque centrum virium C, in diametro poſitum utrique curvæ commune, rectæ P H, Q h, quæ curvas in punctis correſpondentibus Q, P, tangunt, ad idem diametri punctum H convergunt.... *Dem*... Ductis rectis P t, Q v, diametro A D parallelis, erit Q v = G E, = P t, & (per hypotheſim) n v : m t = E Q : E P, unde & alternando n v : E Q = m t : E P, & coeuntibus punctis n & Q, m & P, erit propter ſimilitudinem triangulorum n v Q & Q E h m t P & P E H

n v : E Q = Q v (G E) : E h

m t : E P = P t (G E) : E H

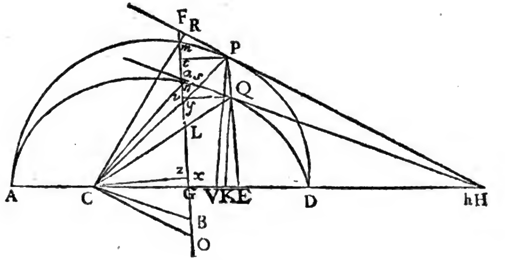
Cùm ergo ſit n v : E Q = m t : E P, erit G E : E h = G E : E H, ideoque E H = E h, ac proindè tangentes ad idem diametri punctum H convergunt. *Q. e. D.*

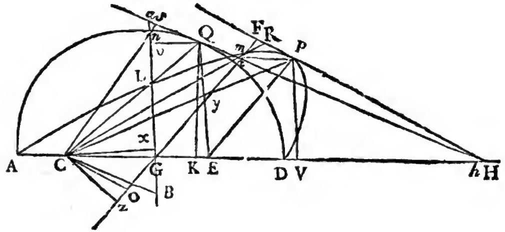
258. *Lemma.* Iiſdem manentibus ſector evaneſcens, C Q n, eſt ad ſectorem C P m, in alterâ curvâ correſpondentem ut area A Q D, ad aream A P D... *Dem*... ob parallelas G m & E P, G n, & E Q, eſt G y : C G = E P : C E & C G : G L = C E : E Q undè ex æquo G y : G L = E P : E Q = G m : G n (per conſt.) & hinc G m — G y : G n — G L = y m : L n = G m : G n = E P : Q E. Ex puncto C, demittantur in G m, & G n, perpendiculares C z, C x; & ex punctis P & Q, in diametrum A D, perpendiculares P V, Q K, & erit triangulum C y m : triang. C L n = y m × C z : L n × C x = G m × C z : G n × C x. Verum ob ſimilia triangula C z G, & P V E, C x G & Q K E, eſt C z : C G = P V : P E, & C G : C x = Q E : Q K: atquè adeò per compoſitionem rationum C z : C x = P V × Q E : Q K × P E = P V × G n : Q K × G m (per conſtr.) cum ergo ſit triangulum C y m : triang. C L n = G m × C z : G n × C x = G m × P V × G n : G n × Q K × G m = P V : Q K, & P V ſit ad Q K, ut parallelogrammum G E P m, ad parallelogrammum G E Q n, hoc eſt, (*per Lem. IV.*) & per conſtruct. ut area A P D, ad aream A Q D; ergò triangula C y m, C L n, ſunt in ratione arearum A P D, A Q D; at punctis m & P, n & Q coeuntibus, ſector C P m, æquatur triangulo C y m, & ſector C Q n triangulo C L n; ſunt igitur ſectores illi evaneſcentes ut areæ A P D, A Q D, directè. *Q. e. d.*

259. *Theor.* Iiſdem manentibus, ſi tempora

periodico; vires ad centrum quodcunque in abſciſsâ poſitum tendentes in ſingulis ordinatis augentur vel diminuuntur in ratione diſtantiarum à centro.

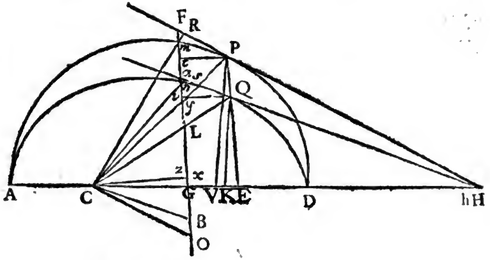
S E C-

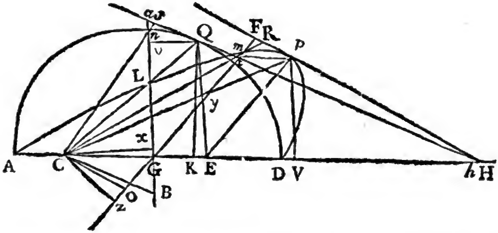




pora periodica in curvis APD, AQD fuerint æqualia, vires centripetæ in punctis correſpondentibus P & Q erunt inter ſe ut diſtantiæ à centro CP, CQ.

Demonſt. Figura AQD rectis ex centro C ductis in ſectores innumeros inter ſe æquales, ut CQn, & figura APd, in totidem ſectores correſpondentes, ac proindè etiam inter ſe æquales (258), ut CPm diviſæ intelligantur; & ob eumdem ſecto-





ſectorum in utrâque figurâ numerum, æquabilem illorum deſcriptionem (*prop.* I.) & æqualia tempora periodica, ſectores C P m, C Q n, æquali tempore deſcribentur. Quare (*per prop.* VI.). Vires centripetæ in punctis P & Q, ſunt inter ſe ut rectæ m R, n S, punctis m & P, n & Q coeuntibus; verùm propter Parallelas Q E, a G & P E, F G, eſt, a G : F G = Q E : P E, (157) & quia n G & m G in eadem ſunt ratione, iis ex a G & F G ſubductis manent a n ad F m ſicut Q E ad P E; ductis autem ex C, Parallelis C B C O ad tangentes a H F H, Triangula B C G & O G C ſunt ſimilia triangulis a G H, F G H unde eſt

B G : a G = G C : G H

& O G : F G = G C ; G H ideoque B G : O G = a G : F G = Q E : P E = n G : m G & jungendo terminos primæ & ſecundæ rationis terminis ultimæ eſt B n : O m = Q E : P E = a n : F m. Denique quia ob C B, C O, Tangentibus a H F H Parallelas, ſimilia etiam ſunt Triangula, a n S & n C B, F m R & m C O, eſt

B n : n a = C n : S n

& eſt F m : m O = R m : m C, & Compoſitis Rationibus eſt B n × F m : n a × m O = C n × R m : S n × m C, ſed quia B n : O m = a n : F m, eſt B n × F m = a n × O m, ergo etiam C n × R m = S n × m C, ideoque C n : C m = R m : S n; ſive diſtantiæ à Centro in eâdem ſunt ratione ac vires Centrales.

Digitized by Google

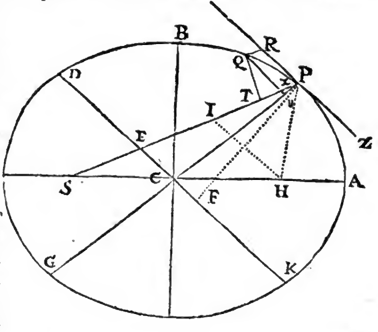
SECTIO III.

De motu corporum in conicis ſectionibus excentricis.

PROPOSITIO XI. PROBLEMA VI.

Revolvatur corpus in ellipſi: requiritur lex vis centripetæ tendentis ad umbilicum ellipſeos.

Eſto ellipſeos umbilicus *S*. Agatur *SP* ſecans ellipſeos tum diametrum *DK* in *E*, tum ordinatim applicatam *Qv* in *x*, & compleatur parallelogrammum *QxPR*. Patet *EP* æqualem eſſe ſemiaxi majori *AC*, eo quod, actâ ab altero ellipſeos umbilico *H* lineâ *HI* ipſi *EC* parallelâ, ob æquales *CS*, *CH* æquentur *ES*, *EI*, (g) adeo ut *EP* ſemi ſumma ſit ipſarum *PS*, *PI*, id eſt (ob parallelas *HI*, *PR*, & angulos æquales *IPR*, *HPZ*) ipſarum *PS*, *PH*, quæ conjunctim axem totum 2*AC* adæquant. Ad *SP* demittatur perpendicularis *QT*, & ellipſeos latere recto

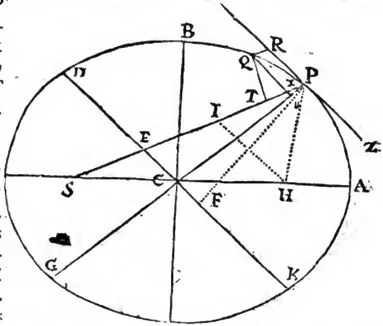


prin-

(g) 260. Quia (*per prop.* 48. *lib.* 3. Conic. *Apoll. ſup. Theor.* IV. de Ellipſi) æquales ſunt anguli quos rectæ PH, PS, conſtituunt cum tangente PR, & ob parallelas HI, PR, æquales quoque ſunt anguli alterni PIH, PHI, æquales erunt rectæ PI, PH, adeóque $EP = \frac{PS + PH}{2} = AC$, (*prop.* 52. *lib.* 3. Conic. *Apoll. ſuperius Theor.* III. de Ellip.).

De Motu Corporum. Liber Primus.

principali (ſeu (h) $\frac{2\,BC\,quad.}{AC}$) dicto L, erit $L \times QR$ ad $L \times Pv$ ut QR ad Pv (i) id eſt, ut PE ſeu AC ad PC; & $L \times Pv$ ad GvP ut L ad Gv; & (k) GvP ad Qv *quad.* ut PC *quad.* ad CD *quad.* & (*per corol.* 2. *lem.* VII.) Qv *quad.* ad Qx *quad.* punctis Q & P coeuntibus eſt ratio æqualitatis; & Qx *quad.* ſeu Qv *quad.* eſt ad QT *quad.* ut EP *quad.* ad PF *quad.* (l) id eſt, ut CA *quad.* ad PF *quad.* ſive (*per lem.* XII.) ut CD *quad.* ad CB *quad.* (m) Et conjunctis his omnibus rationibus, $L \times QR$ fit ad QT *quad.* ut $AC \times L \times PCq \times CDq$, ſeu $2CBq \times PCq \times CDq$ ad $PC \times Gv \times CDq \times CBq$, ſive ut $2PC$ ad Gv. Sed punctis



(h) 261. In Ellipſi & hyperbolâ latus rectum principale $L = \frac{2BC^2}{AC}$ nam $2AC : 2BC = 2BC : L$, undè $L = \frac{4BC^2}{2AC} = \frac{2BC^2}{AC}$.

(i) Per conſtructionem $QR = Px$; ſed propter Triangula ſimilia Pxv, PEC $Px : Pv = PE\ (AC) : PC$, ergò $QR : Pv = AC : PC$.

(k) Per naturam Conicorum, facta partium Diametri ſunt ad quadrata Ordinatarum ut Diametri tranſverſæ quadratum ad quadratum ejus conjugatæ (*Vide ſuperius* de Conicis *Theor.* II. de Ellipſi & de Hyperbolâ.

(l) Eſt $CA^2 : PF^2 = CD^2 : CB^2$; nam per *Lem.* XII. $PF \times CD = AC \times BC$, adeóque $PF^2 \times CD^2 = CA^2 \times BC^2$, ac proindè $CA^2 : PF^2 = CD^2 : CB^2$.

(m) 262. Scriptis ſeorſim analogiis res clara fit.

$$L \times QR : L \times Pv = AC : PC$$
$$L \times Pv : GvP = L : Gv$$
$$GvP : Qv^2 = PC^2 : CD^2$$
$$Qv^2 : QT^2 = CD^2 : CB^2.$$

Undè conjunctis his omnibus rationibus; $L \times QR : QT^2 = AC \times L \times PC^2 \times CD^2 : PC \times Gv \times CD^2 \times CB^2$, hoc eſt, ob $AC \times L = 2BC^2$, $L \times QR : QT^2 = 2PC : Gv$, & ob $2PC = Gv$, $L \times QR = QT^2$, & $L = \frac{QT^2}{QR}$.

Digitized by Google

tis Q & P coeuntibus æquantur $2PC$ & Gv. Ergo & his proportionalia $L \times QR$ & QT *quad.* æquantur. Ducantur hæc æqualia in $\frac{SPq}{QR}$, & fiet $L \times SPq$ æquale $\frac{SPq \times QTq}{QR}$. Ergo (*per corol.* 1. & 5. *prop.* VI.) vis centripeta reciprocè eſt ut $L \times SPq$, id eſt, reciprocè in ratione duplicata diſtantiæ SP. *Q. E. I.*

De Motu Corporum. Liber Primus.

Idem aliter.

Cum vis ad centrum ellipſeos tendens, quâ corpus P in ellipſi illâ revolvi poteſt, ſit (*per corol.* 1. *prop.* x.) ut CP diſtantia corporis ab ellipſeos centro C; ducatur CE parallela ellipſeos tangenti PR; & vis, quâ corpus idem P circum aliud quodvis ellipſeos punctum S revolvi poteſt, ſi CE & PS concurrant in E, (n) erit ut $\frac{PE\ cub.}{SPq}$ (*per corol.* 3. *prop.* VII.) hoc eſt, ſi punctum S ſit umbilicus ellipſeos, ideoque PE detur, ut SPq reciprocè. *Q. E. I.*

Eâdem brevitate, quâ traduximus problema quintum ad parabolam, & hyperbolam, liceret idem hic facere: verum ob dignitatem problematis, & uſum ejus in ſequentibus non pigebit caſus cæteros demonſtratione confirmare.

PRO-

(n) Nam (*per Coroll.* III. *Prop.* VII.) vis tendens ad centrum C, quam exponat recta CP, eſt ad vim tendentem ad aliud punctum S, quam exponat recta *A*, ut $CP \times SP^2$ ad cubum rectæ quæ à centro A ad Tangentem RPZ duceretur parallela ad lineam SP à ſecundo virium centro ad punctum P curvæ ductam, quæ quidem recta æqualis foret PE, quoniam ipſi eſſet Parallela & inter eaſdem Parallelas DCRPZ, adeóque $CP \times SP^2 : PE^3 = CP : A = \frac{PE^3}{SP^2}$; hoc eſt, ſi punctum S ſit umbilicus Ellipſeos, adeóque $PE = AC$ (260) detur, erit vis ut SP^2 reciprocè; hic autem ſupponitur talem eſſe vim ad centrum C tendentem ut tempora periodica circà centra C, & S, æqualia ſint, quod ſupponi poteſt.

Digitized by Google

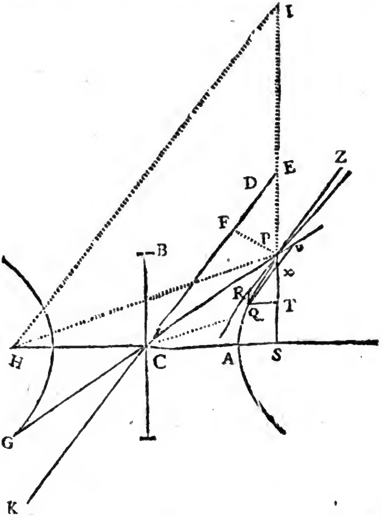
PROPOSITIO XII. PROBLEMA VII.

Moveatur corpus in hyperbolâ: requiritur lex vis centripetæ tendentis ad umbilicum figuræ.

Sunto CA, CB ſemiaxes hyperbolæ; PG, KD, diametri aliæ conjugatæ; PF perpendiculum ad diametrum KD; & Qv ordinatim applicata ad diametrum GP. Agatur SP ſecans cum diametrum DK in E, tum ordinatim applicatam Qv in x, & compleatur parallelogrammum $QRPx$. (°) Patet EP æqualem eſſe ſemiaxi tranſverſo AC, eo quod, actâ ab altero hyperbolæ umbilico H lineâ HI, ipſi EC parallelâ, ob æquales CS, CH æquentur ES, EI; adeo ut EP ſemidifferentia ſit ipſarum PS, PI, id eſt (ob parallelas IH, PR & angulos æquales IPR, HPZ) ipſarum PS, PH, quarum differentia axem totum $2AC$ adæquat. Ad SP demittatur perpendicularis QT. Et hyperbolæ latere recto principali (ſeu $\frac{2BCq}{AC}$) dicto L, erit $L \times QR$ ad $L \times Pv$ ut QR ad Pv, ſeu Px ad Pv, id eſt (ob ſimilia triangula Pxv, PEC) ut PE ad PC, ſeu AC ad PC. Erit etiam $L \times Pv$ ad $Gv \times Pv$ ut L ad Gv; & (ex naturâ conicorum) rectangulum GvP ad Qv *quad.* ut PCq ad CDq; & (*per corol.* 2. *lem.* VII.) Qv *quad.* ad Qx *quad.* punctis Q & P coeuntibus fit ratio æqualitatis; & Qx *quad.* ſeu Qv *quad.* eſt ad QTq ut EPq ad PFq, id eſt, ut CAq ad PFq, ſive (*per lem.* XII.) ut CDq ad CBq: & conjunctis his omnibus rationibus $L \times QR$ fit ad QTq ut $AC \times L \times PCq \times CDq$, ſeu $2CBq \times PCq \times CDq$ ad $PC \times Gv \times CDq \times CBq$, ſive ut $2PC$ ad Gv. Sed punctis P & Q coeuntibus æquantur $2PC$ & Gv. Ergo & his propor-

(°) 263. Eſt $SE = SP + PE$ & ob æquales ES, EI, eſt $PI = EI + PE = ES + PE = SP + 2PE$, ac proinde $PI - SP = 2PE$, ac PE eſt ſemidifferentia ipſarum PS, PI; ſed angulus $HPR = RPS$, angulus enim interceptus inter lineas à focis ad punctum Hyperbolæ ductas bifariam dividitur per Tangentem (*per prop.* 48. *lib.* 3. Conic. *Apoll. vide Theor.* V. de Hyp.) & $RPS = EPZ$ (*per* 15. 1. *Elem.*) adeóque $IPR = HPZ$, & ob parallelas IH, PR, angulus $PHI = HPR = IPZ = HIP$, unde $HP = PI$, adeóque EP, eſt ſemidifferentia ipſarum PS, PH, & quia differentia rectarum PS, PH, axem totum $2AC$, adæquat (*per prop.* 51. *lib.* 3. Conic. *Apoll. Vide ſup. Theor.* IV. de Hyperb.) eſt $EP = AC$.

Digitized by Google



portionalia $L \times QR$ & QTq (p) æquantur. Ducantur hæc æqualia in $\frac{SPq}{QR}$, & fiet $L \times SPq$ æquale $\frac{SPq \times QTq}{QR}$. Ergo (*per corol.* 1. & 5. *prop.* VI.) vis centripeta reciprocè eſt ut $L \times SPq$, id eſt, reciprocè in ratione duplicatâ diſtantiæ *SP*. *Q. E. I.*

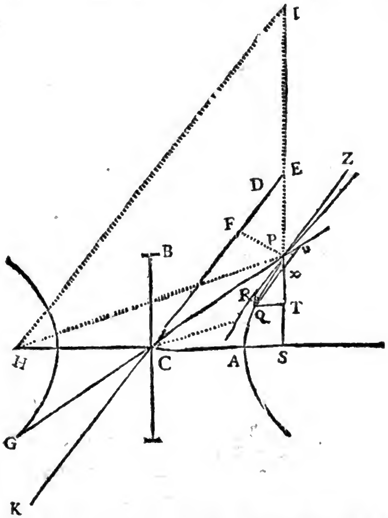
Idem aliter.

Inveniatur vis, quæ tendit ab hyperbolæ centro *C*. Prodibit hæc diſtantiæ *CP* proportionalis. Inde vero (*per corol.* 3. *prop.*

(p) 264. Notandum eſt quod in hyperbolâ ſicut in Ellipſi, (ut liquet ex demonſtratione Prop. X. & XI.) latus rectum principale ſive $L = \frac{QT^2}{QR}$.

VII.) vis ad umbilicum S tendens erit ut $\frac{PE\ cub.}{SPq}$, hoc eſt, ob datam PE reciprocè ut SPq. *Q. E. I.*

Eodem modo demonſtratur, quod corpus (q) hac vi centri-



(q) 265. Nam ex centro C, in tangentem PR productam ducta intelligatur recta ipſi HP parallela, & ea æqualis erit lineæ PE; Etenim ob parallelas PR, CE, & HI, angulus quem linea ipſi HP, parallela efficit cum CE, æqualis erit angulo PHI = HIP = CEP; lineæ autem intrà duas parallelas æqualiter inclinatæ ſunt æquales. Eſt igitur, (*per coroll. 3. prop.* VII.) vis centrifuga à Centro C, tendens quâ corpus P, hyperbolam AQP, deſcribit ad vim centrifugam à foco H tendentem quâ eandem hyperbolam percurrit ut $CP \times HP^2$ ad PE^3. Vim à centro C, tendentem, quæ eſt ut CP, exponat recta CP, & alteram vim à foco H directam exponat recta A, & erit $CP \times HP^2 : PE^3 = CP : A = \frac{PE^3}{HP^2}$, hoc eſt, ob PE æqualem datæ AC, vis à foco H tendens eſt reciprocè ut HP^2.

tripetâ in cenrrifugam verſâ movebitur in hyperbolâ oppoſitâ.

LEMMA XIII.

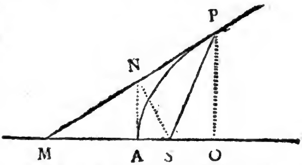
(r) *Latus rectum parabolæ ad verticem quemvis pertinens eſt quadruplum diſtantiæ verticis illius ab umbilico figuræ.*

Patet ex conicis.

LEMMA XIV.

Perpendiculum, quod ab umbilico parabolæ ad tangentem ejus demittitur, medium eſt proportionale inter diſtantias umbilici à puncto contactus & à vertice principali figuræ.

Sit enim *AP* parabola, *S* umbilicus ejus, *A* vertex ptincipalis, *P* punctum contactus, *P O* ordinatim applicata ad diametrum principalem, *P M* tangens diametro principali occurrens in *M*, & *SN* linea perpendicularis ab umbilico in tangentem. Jungatur *AN* & ob æquales *MS* & *SP*, *MN*, & *NP*, *MA* & *AO* parallelæ erunt rectæ *AN* & *OP*; & inde triangulum *SAN* rectangulum erit ad *A*, & ſimile triangulis æqualibus *SNM*, *SNP*: ergo *PS* eſt ad *SN* ut *SN* ad *SA*. *Q. D. E.*



Corol. 1. *PSq* eſt ad *SNq* ut *PS* ad *SA*.

(ſ) *Corol.* 2. Et ob datam *SA* eſt *SNq* ut *PS*.

Corol. 3. Et concurſus tangentis cujuſvis *PM* cum rectà *SN*, quæ ab umbilico in ipſam perpendicularis eſt, incidit in rectam *AN* quæ parabolam tangit in vertice principali.

PRO-

(r) 266. *Dem.* Illius demonſtrationem jam ſuperius in Compendio de Conicis, *Theor.* IV. de Parabolâ dedimus.

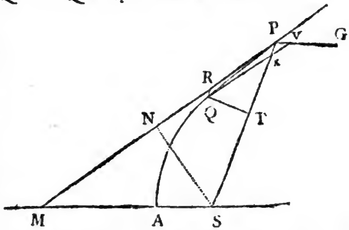
(ſ) Cum ſit (per coroll. 1.) $SA \times PS^2 = SN^2 \times PS$, adeóque $SA \times PS = SN^2$; erit ob datam *SA*, SN^2 ut *PS*, id eſt, variationes quadrati SN^2, in eâdem parabolâ erunt ut variationes rectæ *SP* ſive ut diſtantiæ à foco.

De Motus Corporum. Liber Primus.

PROPOSITIO XIII. PROBLEMA VIII.

Moveatur corpus in perimetro parabolæ: requiritur lex vis centripetæ tendentis ad umbilicum hujus figuræ.

Maneat conſtructio lemmatis, ſitque *P* corpus in perimetro parabolæ, & à loco *Q*, in quem corpus proxime movetur, age ipſi *SP* parallelam *QR* & perpendicularem *QT*, necnon *Qv* tangenti parallelam, & occurrentem tum diametro *PG* in *v*, tum diſtantiæ *SP* in *x*. Jam ob ſimilia triangula (t) *Pxv*, *SPM*, & æqualia unius latera *SM*, *SP*, æqualia ſunt alterius latera *Px* ſeu *QR* & *Pv*. Sed ex conicis quadratum ordinatæ *Qv* æquale eſt rectangulo ſub latere recto & ſegmento diametri *Pv*, id eſt (*per lem.* XIII.) rectangulo $4 PS \times Pv$, ſeu $4 PS \times QR$; & punctis *P* & *Q* coeuntibus, ratio *Qv* ad *Qx* (*per corol.* 2. *lem.* VII.) fit ratio æqualitatis. Ergo *Qx quad.* eo in caſu æquale eſt rectangulo $4 PS \times QR$. Eſt autem (ob ſimilia triangula *QxT*, *SPN*) *Qxq* ad *QTq* ut *PSq* ad *SNq*, hoc eſt (*per corol.* 1. *lem.* XIV.) ut *PS* ad *SA*, id eſt, ut $4 PS \times QR$ ad $4 SA \times QR$, & inde (*per prop.* IX. *lib.* V. *elem.*) (u) *QTq* & $4 SA \times QR$ æquantur. Ducantur hæc æqualia in $\frac{SPq}{QR}$, & fiet $\frac{SPQ \times QTq}{QR}$ æquale



SP

(t) * Nam ob parallelas M P & Q v, MS & PG, eſt angulus v P x = PSM & P x v = Q x T = M P S.

(u) 267. Quoniam latus rectum principale $L = 4 AS$, & eſt $4 AS \times QR = QT^2$, erit etiam in parabolâ ut in cæteris Sectionibus conicis (264), latus rectum principale $L = \frac{QT^2}{QR}$.

268.

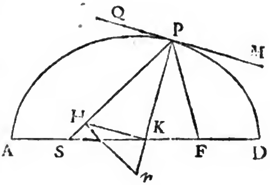
$SPq \times 4SA$: & propterea (*per corol.* 1. *&* 5. *prop.* VI.) vis centripeta eſt reciprocè ut $SPq \times 4SA$, id eſt, ob datam $4SA$ reciprocè in duplicatâ ratione diſtantiæ SP. *Q. E. I.*

Corol. 1. (x) Ex tribus noviſſimis propoſitionibus conſequens eſt, quod ſi corpus quodvis P ſecundum lineam quamvis rectam PR quâcunque cum velocitate exeat de loco P, & vi centripetâ, quæ reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ locorum à centro, ſimul agitetur; movebitur hoc corpus in aliquâ ſectionum conicarum umbilicum habente in centro virium; & contra. Nam datis umbilico, & puncto contactus, & poſitione tangentis, deſcribi poteſt ſectio conica, quæ curvaturam datam ad punctum illud habebit. Datur autem curvatura ex datâ vi centripetâ, & velocitate corporis: & orbes duo ſe mutuo tangentes eâdem vi centripetâ eâdemque velocitate deſcribi non poſſunt.

Co-

(x) 268. Si corpus moveatur in aliquâ ſectionum conicarum umbilicum habente in centro virium, vis centripeta erit reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ locorum ab umbilico, & contrà ſi vis centripeta fuerit quadrato diſtantiæ à centro virium reciprocè proportionalis, corpus movebitur in aliquâ ſectionum conicarum... *Dem*... Prima pars propoſitionis à NEWTONO eleganter demonſtrata, poteſt adhuc aliter & generatim demonſtrari. Vis centripeta ut $\frac{SP}{SY^3 \times R}$ (212.) ſed in omni ſectione conicâ $R = \frac{L \times SP^3}{2SY^3}$ (239.) Ergò $\frac{SP}{SY^3 \times R} = \frac{2SY^3 \times SP}{SY^3 \times L \times SP^3} = \frac{2}{L \times SP^2}$ hoc eſt, ob datam $\frac{2}{L}$, vis eſt ut $\frac{1}{SP^2}$. *Q. e.* 1um.

Corpus P, datâ cum velocitate ſecundum directionem datam PQ projiciatur, ſitque vis centripetæ ad punctum S tendentis quantitas abſoluta data in puncto dato P, in variis à centro diſtantiis ea vis ſit ſemper in ratione inverſâ quadrati diſtantiæ à centro S, ſi ea fuerit corporis P velocitas quam vi centripetâ ut eſt in



P uniformiter urgente acquireret cadendo per $\frac{1}{2}$ SP & prætereà PS ſit ad PQ perpendicularis, corpus P circulum deſcribet cujus centrum S & radius PS (201.) Si verò alia fuerit velocitas, aut PS ad PQ obliquâ, corpus P aliam deſcribet orbitam in quâ tangens PQ, non ſemper erit ad radium vectorem SP perpendicularis. Sit igitur PQ ad SP obliqua, datur Pr, radius circuli orbitam à corpore P deſcribendam oſculantis in P; ex r in PS demittatur perpendicularis rH, & ex H in Pr perpendicularis HK, jungaturque

SK;

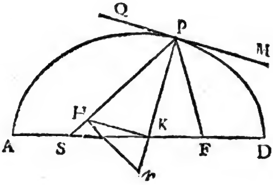
Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.

Corol. 2. Si velocitas, quâcum corpus exit de loco ſuo P, ea ſit, quâ lineola PR in minimâ aliquâ temporis particulâ deſcribi poſſit; & vis centripeta potis ſit eodem tempore corpus idem movere per ſpatium QR: movebitur hoc corpus in conicâ aliquâ ſectione; cujus latus rectum principale eſt quantitas illa (r) $\frac{QTq}{QR}$, quæ ultimo fit, ubi lineolæ PR, QR in infinitum diminuuntur. Circulum in his corollariis refero ad ellipſin; & caſum excipio, ubi corpus rectâ deſcendit ad centrum.

PRO-

S K; Deindè fiat angulus Q P F complementum ad duos rectos anguli Q P S, & ſi fuerit P F parallela ipſi S K, deſcribatur parabola cujus umbilicus S, axis SK, & punctum perimetri P, data ſunt. Si verò P F ipſi S K occurrat in puncto aliquo F, tunc focis S, & F, & perimetri puncto P datis deſcribatur Hyperbola, ſi puncta S & F cadant ad eandem partem puncti K, & Ellipſis ſi cadant ad partes contrarias, & corpus *P* movebitur in ſectione conicâ per eam conſtructionem deſcriptâ. Nam (*per conſtruct.*) angulus Q P F, eſt complementum anguli Q P S, ad duos rectos; ſed angulus S P M, eſt quoque ejuſdem anguli QPS, complementum ad duos rectos, ac proindè Q P F = S P M, ergò ſubducto communi angulo S P F, erit angulus Q P S = F P M, adeòque Q P, tangens ſectionis in P, (*prop.* 48. *Lib.* 3. Conic. *Apoll.* & *per Theor.* III. *aut* IV. de Hyp. Ell. & Parab.) Cum igitur ſectionis axis ſit S K, & P K ad tangentem P Q normalis (*per conſtr.*) erit P r radius curvaturæ ſectionis in puncto P, (239.) eadem igitur eſt ſectionis conicæ & orbitæ quam corpus *P* deſcribit tangens atque curvatura in puncto P, porrò ſectio conica D P A deſcribi poteſt vi aliquâ centripetâ ad umbilicum S tendente quæ ſit ſemper reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ ab illo puncto S (*per ſuperiùs demonſtrata*) & ex datis corporis alicujus *A* ſectionem deſcribentis, velocitate in puncto P, directione tangentis P Q, directione vis P S, & curvaturâ ſectionis conicæ in P, datur vis centripetæ quantitas abſoluta in puncto P,



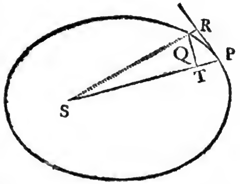
(242.) quâ corpus *A* in ſectione conicâ retinetur in P, ponamus velocitatem corporis *A* eandem cum velocitate projectionis corporis *P* orbitam ſuam deſcribentis, tùm eadem erit ejus orbitæ & Sectionis Conicæ curvatura in P, idem virium centrum S, idem punctum P, eadem tangens P Q, eadem velocitas projectionis, eadem lex vis centripetæ, ac proindè eadem illius quantitas abſoluta in puncto P, tam in ſectione conicâ quàm in orbitâ à corpore P deſcribendâ. Cùm igitur corpus P, iis poſitis unicam curvam deſcribere poſſit & quidem ſectionem conicam D P A poſſit deſcribere, eam reverâ deſcribet (244.) *Q. e.* 2um.

2am. hujuſce propoſitionis partem formulis analyticis invenerunt *Hermannus* & *Bernoullius* in Monumentis Academiæ Pariſienſis, an. 1710.

(r) * Patet ex notâ 267.

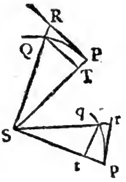
PROPOSITIO XIV. THEOREMA VI.

Si corpora plura revolvantur circa centrum commune, & vis centripeta ſit reciprocè in duplicatâ ratione diſtantiæ locorum à centro; dico quod orbium latera recta principalia ſunt in duplicatâ ratione arearum, quas corpora radiis ad centrum ductis eodem tempore deſcribunt.



([z]) Nam (*per corol.* 2. *prop.* XIII.) latus rectum L æquale eſt quantitati $\frac{QTq}{QR}$, quæ ultimo fit, ubi coeunt puncta P & Q. Sed linea minima QR dato tempore eſt ut vis centripeta generans, hoc eſt (*per hypotheſin*) reciprocè ut SPq. Ergo $\frac{QTq}{QR}$ eſt ut $QTq \times SPq$, hoc eſt, latus rectum L in duplicatâ ratione areæ $QT \times SP$. *Q. E. D.*

Corol. ([a]) Hinc ellipſeos area tota, eique proportionale rectangulum ſub axibus eſt in ratione compoſitâ ex ſubduplicatâ ratione lateris recti, & ratione temporis periodici. Namque area tota eſt ut area $QT \times SP$, quæ dato tempore deſcribitur, ducta in tempus periodicum.



([z]) 269. Sint in Hypotheſi propoſitionis XIV. duarum ſectionum conicarum arcus quam minimi PQ, pq, ſimul deſcripti, L, l, earumdem latera recta, (*& per prop. VI. & Hyp.*) $QR : qr = Sp^2 : SP^2$. Sed (267.) $\frac{QT^2}{QR} : \frac{qt^2}{qr} = L : l = \frac{QT^2}{Sp^2} : \frac{qt^2}{SP^2} = QT^2 \times SP^2 : qt^2 \times Sp^2$. Sunt autem $QT \times SP$, $qt \times Sp$, ut ſectores evaneſcentes SQP, Sqp, ergò latera recta L, l, ſunt in duplicatâ ratione arearum ſimul deſcriptarum; nam areæ quævis ſimul deſcriptæ ſunt ſemper ut ſectores SQP, Sqp, ſimul deſcripti, ob æquabilem circà centrum virium S arearum deſcriptionem in utrâque ſectione conicâ. Hinc in analogiis loco quadrati areæ dato tempore deſcriptæ ſubſtitui poteſt ſectionis latus rectum & contrà, dummodo id fiat in Hypotheſi propoſitionis.

([a]) 270. *Hinc Ellipſeos area tota eique proportionale rectangulum ſub axibus* (250.) *eſt in ratione compoſitâ ex ſubduplicatâ ratione lateris recti & ratione temporis periodici.*

Digitized by Google

PROPOSITIO XV. THEOREMA VII.

Iiſdem poſitis, dico quod tempora periodica in ellipſibus ſunt in ratione ſeſquiplicatâ majorum axium.

(b) Namque axis minor eſt medius proportionalis inter axem majorem & latus rectum, atque ideo rectangulum ſub axibus eſt in ratione compoſitâ ex ſubduplicatâ ratione lateris recti & ſeſquiplicatâ ratione axis majoris. Sed hoc rectangulum (*per corol. prop.* XIV.) eſt in ratione compoſitâ ex ſubduplicatâ ratione lateris recti & ratione periodici temporis. Dematur utrobique ſubduplicata ratio lateris recti, & manebit ſeſquiplicata ratio majoris axis eadem cum ratione periodici temporis. *Q. E. D.*

(c) *Corol.* Sunt igitur tempora periodica in ellipſibus eadem ac in circulis, quorum diametri æquantur majoribus axibus ellipſeon.

PRO-

dici. Namque tempus periodicum (252.) eſt ut area tota directè & area tempore dato deſcripta inversè, adeòque area tota eſt ut area QT × SP quæ dato tempore deſcribitur (hoc eſt, (269.) ut radix quadrata lateris recti) ducta in tempus periodicum.

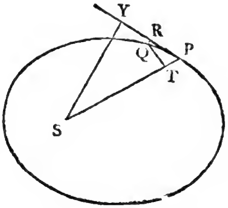
(b) 271. Sit Ellipſis axis major A, minor B, Latus rectum L, tempus periodicum T; & quoniam A : B = B : L, erit $B^2 = A \times L$, $B = A^{\frac{1}{2}} \times L^{\frac{1}{2}}$, $A \times B = A^{\frac{3}{2}} \times L^{\frac{1}{2}}$, ſed rectangulum A × B, (270.) eſt ut $T \times L^{\frac{1}{2}}$, ergò $A^{\frac{3}{2}} \times L^{\frac{1}{2}}$ eſt ut $T \times L^{\frac{1}{2}}$, & dividendo utrumque terminum per $L^{\frac{1}{2}}$ erit $A^{\frac{3}{2}}$ ut T.

(c) 272. Circulus eſt ſpecies ellipſis cujus foci cum centro coincidunt & Latus rectum cum diametro; ſed tempora periodica in Ellipſibus quæ axem majorem æqualem habent ſunt æqualia (271.) ergò in Ellipſi & circulo cujus diameter ſeu axis æquatur axi majori ellipſis, tempora periodica æquantur.

Digitized by Google

PROPOSITIO XVI. THEOREMA VIII.

Iiſdem poſitis, & actis ad corpora lineis rectis, quæ ibidem tangant orbitas, demiſſiſque ab umbilico communi ad has tangentes perpendicularibus: dico quod velocitates corporum ſunt in ratione compoſitâ ex ratione perpendiculorum inversè, & ſubduplicatâ ratione laterum rectorum principalium directè.



Ab umbilico S ad tangentem PR demitte perpendiculum SY, & velocitas corporis P erit reciprocè in ſubduplicatâ ratione quantitatis $\frac{SYq}{L}$. Nam velocitas illa eſt ut arcus quam minimus PQ in datâ temporis particulâ deſcriptus, hoc eſt (*per lem.* VII.) ut tangens ([d]) PR, id eſt, ob proportionales PR ad QT & SP ad SY, ut $\frac{SP \times QT}{SY}$, ſive ut SY reciprocè & $SP \times QT$ directè; eſtque $SP \times QT$ ut area dato tempore deſcripta, id eſt (*per prop.* XIV.) in ſubduplicatâ ratione lateris recti. *Q. E. D.*

Corol. 1. ([e]) Latera recta principalia ſunt in ratione compoſitâ ex duplicatâ ratione perpendiculorum, & duplicatâ ratione velocitatum.

Corol. 2. Velocitates corporum, in ([f]) maximis & minimis ab umbilico communi diſtantiis, ſunt in ratione compoſitâ ex ratio-ne

([d]) * Velocitas eſt ut tangens PR; ſed ob angulos ad T & Y rectos & angulos QPT, YPS, punctis P, Q, cocuntibus æquales, triangulum evaneſcens QPT, ſimile erit triangulo PSY, adeòque $QP\,(PR) : QT = SP : SY$, & $PR = \frac{SP \times QT}{SY}$.

([e]) * Velocitatis quadratum c^2, eſt directè ut $\frac{L}{SY^2}$ (*prop.* XVI.) ergò L eſt ut $c^2 \times SY^2$.

([f]) * Maximæ & minimæ diſtantiæ ſunt axis partes ab umbilico ad vertices principales contentæ, adeoque cùm illic axis ſit per-

pen-

ne diſtantiarum inversè, & ſubduplicatâ ratione laterum rectorum principalium directè. Nam perpendicula jam ſunt ipſæ diſtantiæ.

Corol. 3. (g) Ideoque velocitas in conicâ ſectione, in maximâ vel minimâ ab umbilico diſtantiâ, eſt ad velocitatem in circulo in eadem à centro diſtantia in ſubduplicatâ ratione lateris recti principalis ad duplam illam diſtantiam.

Corol. 4. (h) Corporum in ellipſibus gyrantium velocitates in mediocribus diſtantiis ab umbilico communi ſunt eædem, quæ corporum gyrantium in circulis ad eaſdem diſtantias; hoc eſt (*per corol. 6. prop.* IV.) reciprocè in ſubduplicatâ ratione diſtantiarum. Nam perpendicula jam ſunt ſemi-axes minores, & hi ſunt ut mediæ proportionales inter diſtantias & latera recta. Componatur hæc ratio inversè cum ſubduplicatâ ratione laterum rectorum directè, & fiet ratio ſubduplicata diſtantiarum inversè.

Corol. 5. In eadem figurâ, vel etiam in figuris diverſis, quarum latera recta principalia ſunt æqualia, velocitas corporis eſt reciprocè ut perpendiculum demiſſum ab umbilico ad tangentem.

Corol. 6. (i) In parabolâ velocitas eſt reciprocè in ſubduplicatâ ratione diſtantiæ corporis ab umbilico figuræ; in ellipſi ma-

pendicularis tangenti, ipſa perpendicula ad tangentem in maximis & minimis diſtantiis ſunt ipſæ diſtantiæ; mediocres diſtantiæ ſunt diſtantiæ ab umbilico ad vertices axis minoris Ellipſeos, adeòque ſemiaxi majori æquantur.

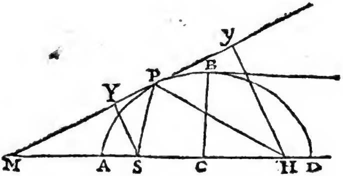
(g) * Nam circulus ille (272.) eſt ellipſis cujus latus rectum eſt ipſa diameter, ideoque eſt ipſa dupla diſtantia ab umbilico ſeu centro, quare cum eadem ponatur diſtantia tam in conicâ ſectione quàm in circulo, velocitates ſunt in ſubduplicatâ ratione laterum rectorum, hoc eſt in ſubduplicatâ ratione lateris recti ſectionis conicæ, ad duplam illam diſtantiam quæ eſt latus rectum circuli.

(h) * Sit *A* corporis in Ellipſi gyrantis mediocris diſtantia ab umbilico, ſit etiam circuli radius *A*; ſemiaxis minor, ſeu perpendicularis demiſſa ex umbilico in tangentem axi majori parallelam ſit *B*, latus rectum *L*, & circuli latus rectum (272.) erit 2 A, velocitas in Ellipſi ſit C, in circulo c, & erit (*per prop.* XVI.) $C^2 : c^2 = \frac{L}{B^2} : \frac{2A}{A^2} = L \times A : 2B^2$; ſed ex Conicis diſtantiâ à foco ad extremitatem ſemiaxis minoris (quæ eſt mediocris diſtantia) eſt æqualis ſemiaxi majori, eſt ergo diſtantia *A* ſemiaxis major, ideoque cum ex conicis ſit $A : B = 2B : L$, eſt $2B^2 = A \times L$, ergò $C^2 = c^2$, & $C = c$.

(i) *In Parabolâ velocitas eſt reciprocè in ſubduplicatâ ratione diſtantiæ corporis ab umbilico figuræ*; cùm enim velocitas ſit reciprocè ut perpendiculum demiſſum ab umbili-

magis variatur, in hyperbolâ minus quàm in hac ratione. Nam (*per corol.* 2. *lem.* XIV.) perpendiculum demiſſum ab umbilico ad tangentem parabolæ eſt in ſubduplicatâ ratione diſtantiæ. In hyperbolâ perpendiculum minus variatur, in ellipſi magis.

Co-



bilico ad Tangentem, per præced. Coroll.; & (*per Cor.* 2. *Lem.* XIV.) quadratum ejus perpendiculi ſit ſemper in Parabolâ ut diſtantia à foco, erit velocitas reciproce ut radix quadrata illius diſtantiæ à foco, ſive in *ſubduplicatâ ratione diſtantiæ* &c.

276. *Lemma.* Sit Ellipſis APB, cujus axis major AD, foci S & H, ſemiaxis minor BC; My tangens in P, SY & Hy in tangentem perpendiculares; ob angulos YPS, HPy, æquales (*prop.* 48. *lib.* 3. *Conic.* Apoll. *ſup. Theor.* IV. *de Ellip.*) ſimilia ſunt triangula SPY, HPy, undè SP : SY : = HP : Hy $= \frac{SY \times HP}{SP}$, ac proindè $SY \times Hy = \frac{SY^2 \times HP}{SP}$ $= BC^2$ (ex conicis. *Vid. ſup.* n. 236.) ſed HP + SP = AD (*prop* 52. *lib.* 3. Conic. Apoll. *ſup. Theor.* III. de Ellipſi) unde eſt HP = AD — SP ergò $\frac{SY^2 \times AD - SP}{SP}$ $= BC^2$; & $SY^2 = \frac{BC^2 \times SP}{AD - SP}$. Ergò in Ellipſi, SY^2 variatur in ratione $\frac{BC^2 \times SP}{AD - SP}$ ſive ob quantitatem BC^2, conſtantem in ratione $\frac{SP}{AD - SP}$:

Creſcat diſtantia SP, minor fiet AD—SP; ſi non mutaretur denominator fractionis $\frac{SP}{AD - SP} = SY^2$, creſceret SY^2 ſicut SP, cum autem minuatur denominator Sp creſcente, eo ipſo major fit valor fractionis $\frac{SP}{AD - SP}$ ergo creſcente SP, SY^2 magis creſcit quàm in ſolâ ratione SP, *ergo perpendiculum in ellipſi magis variatur quam in ſubduplicatâ ratione diſtantiæ* SP.

In Hyperbolâ verò, quoniam HP — SP = AD (*prop.* 51. *lib.* 3. Conic. Apoll. *Theor.* III. de Hyp.) & HP = AD + SP, eodem modo reperitur $SY^2 = \frac{BC^2 \times SP}{AD + PS}$, & creſcente SP, creſcit etiam AD + SP, ſi idem maneret denominator creſceret SY^2 ſicut SP, denominatore aucto, fractio $\frac{SP}{AD + SP}$ fit minor quam eo manente, ſed ea exprimit valorem quadrati perpendiculi SY, ergo SY^2 minus creſcit quàm SP ſive *perpendiculum in Hyperbolâ minus variatur quam in ſubduplicatâ ratione diſtantiæ* SP.

Digitized by Google

Corol. 7. ([k]) In parabolâ velocitas corporis ad quamvis ab umbilico diſtantiam eſt ad velocitatem corporis revolventis in circulo ad eandem à centro diſtantiam in ſubduplicatâ ratione numeri binarii ad unitatem; ([l]) in ellipſi minor eſt, in hyperbolâ major quàm in hac ratione. Nam per hujus corollarium ſecundum velocitas in vertice parabolæ eſt in hac ratione, & per corollaria ſexta hujus & propoſitionis quartæ ſervatur eadem proportio in omnibus diſtantiis. Hinc etiam in parabolâ velocitas ubique æqualis eſt velocitati corporis revolventis in circulo ad dimidiam diſtantiam, in ellipſi minor eſt, in hyperbolâ major.

Co-

([k]) 277. Sit latus rectum parabolæ L, adeóque diſtantia foci à vertice $\frac{1}{4}L$, & ex umbilico tanquam centro ac radio $\frac{1}{4}L$, deſcribatur circulus, ejus latus rectum ſeu diameter erit $\frac{1}{2}L$; unde velocitas corporis in vertice parabolæ erit ad velocitatem corporis in illo circulo revolventis ut $\surd L$ ad $\surd \frac{1}{2}L$, hoc eſt, ut $\surd 2$ ad 1. (*corol.* 2. *hujuſce Prop.*) ſed *per corol.* 6. velocitas in vertice parabolæ eſt ad velocitatem in aliâ quâvis ab umbilico diſtantiâ SP, ut $\surd SP$ ad $\surd \frac{1}{4}L$, & (*per corol.* 6. *prop.* IV.) velocitas in circulo cujus radius $\frac{1}{4}L$, eſt etiam ad velocitatem in alio circulo cujus radius SP, ut $\surd SP$, ad $\surd \frac{1}{4}L$; quarè velocitas in vertice parabolæ eſt ad velocitatem in eâdem parabolâ ad diſtantiam SP, ut velocitas in circulo cujus radius $\frac{1}{4}L$, ad velocitatem in circulo cujus radius eſt SP, ac proindè alternando velocitas in vertice parabolæ eſt ad velocitatem in circulo radio $\frac{1}{4}L$ deſcripto, hoc eſt, $\surd 2$ ad 1, ut velocitas in parabolâ in diſtantiâ SP, ad velocitatem in circulo ad eandem à centro ſeu umbilico diſtantiam deſcripto.

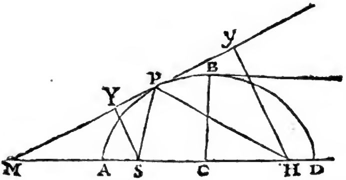
278. *Hinc etiam in parabolâ velocitas ubique æqualis eſt velocitati corporis revolventis in circulo ad dimidiam diſtantiam*; nam velocitas in circulo cujus radius $\frac{1}{2}SP$ eſt ad velocitatem in circulo cujus radius SP, ut $\surd 2$ ad 1, (*per coroll.* 6. *prop.* IV.) ſed velocitas in parabolâ ad diſtantiam SP, eſt ad velocitatem in circulo cujus radius SP, etiam ut $\surd 2$. ad 1, velocitas igitur in parabolâ ad diſtantiam SP, æquatur velocitati in circulo cujus radius $\frac{1}{2}SP$.

([l]) 279. *In Ellipſi velocitas corporis ad quamvis ab umbilico diſtantiam eſt ad velocitatem corporis revolventis in circulo ad eandem à centro diſtantiam in minore ratione quam* $\surd 2$ *ad* 1, *in Hyperbolâ in ratione majore.* Sit enim Ellipſis vel hyperbolæ latus rectum L, diſtantia ab umbilico SP, perpendiculum ad tangentem ſectionis in puncto P demiſſum SY; SP, ſit radius circuli, C ſit velocitas in Ellipſi vel hyperbola ad diſtantiam SP; C, velocitas in circulo, & erit (*per prop.* XVI.) $c^2 : C^2 = \frac{L}{SY^2} : \frac{2SP}{SP^2} = L \times SP : 2SY^2$; ſed (276) $2SY^2 = \frac{2BC^2 \times SP}{AD \mp SP}$, ergo $c^2 : C^2 = L \times SP : \frac{2BC^2 \times SP}{AD \mp SP} = L \times \overline{AD \mp SP} : 2BC^2$; & ob $L \times AD = 4BC^2$ ſeu $BC^2 = \frac{L \times AD}{2}$, eſt $c^2 : C^2 = 2AD \mp 2SP : AD$; undè in Ellipſi in quâ 2SP habet ſignum $-$, ratio c^2 ad C^2, minor eſt quam ratio

Corol. 8. Velocitas gyrantis in ſectione quâvis conicâ eſt ad velocitatem gyrantis in circulo in diſtantiâ dimidii lateris recti principalis ſectionis, ut diſtantia illa ad perpendiculum ab umbilico in tangentem ſectionis demiſſum. (m) Patet per corollarium quintum.

Corol. 9. (n) Unde cùm (*per corol. 6. prop.* IV.) velocitas gyrantis in hoc circulo ſit ad velocitatem gyrantis in circulo quovis alio reciprocè in ſubduplicatâ ratione diſtantiarum; fiet ex æquo velocitas gyrantis in conicâ ſectione ad velocitatem gyrantis in circulo in eâdem diſtantiâ, ut media proportionalis inter diſtantiam illam communem & ſemiſſem principalis lateris recti ſectionis, ad perpendiculum ab umbilico communi in tangentem ſectionis demiſſum.

PRO-



ratio 2; ad 1, & ratio c ad C, minor quam ratio $\sqrt{2}$, ad 1; in hyperbolâ major ob + 2 SP (276.)

280. *Coroll.* Quoniam diſtantia ab altero ſectionis foco $HP = AD \mp SP$, erit $c^2 : C^2 = 2HP : AD = HP : \frac{1}{2}AD$, hoc eſt, velocitas in Ellipſi & hyperbolâ ad quamvis ab umbilico ſeu centro virium diſtantiam SP eſt ad velocitatem in circulo ad eandem diſtantiam in ratione ſubduplicatâ diſtantiæ HP ab altero umbilico ad ſemiaxem majorem.

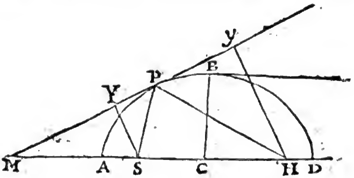
(m) * Nam ille circulus & ſectio Conica idem latus rectum habent, quia in circulo diſtantia à Centro ſemi diametro æquatur & tota diameter eſt latus Rectum, ideo velocitates ſunt reciprocè ut perpendicula in Tangentem demiſſa (*per Cor.* 5. *hujuſce*) ſed in circulo ſemidiameter perpendiculo æquatur, ergo velocitates in ſectione & in circulo ſunt ut ſemi diameter circuli ad Perpendiculum &c.

(n) 281. Sit C velocitas corporis gyrantis in circulo ad diſtantiam dimidii lateris recti $\frac{1}{2}L$, c velocitas in ſectione conicâ ad diſtantiam SP, K velocitas in circulo ad eandem diſtantiam SP, & erit (*per coroll.* 8.) $c^2 : C^2 = \frac{1}{4}L^2 : SY^2$ (& *per cor.* 6. *prop.* IV.) $C^2 : K^2 = SP : \frac{1}{2}L$. undè, ex æquo, $c^2 : K^2 = SP \times \frac{1}{4}L^2 : SY^2 \times \frac{1}{2}L = SP \times \frac{1}{2}L : SY^2$. Fiat $SP : m = m : \frac{1}{2}L$, & erit $m^2 = SP \times \frac{1}{2}L$, ac proindè $c^2 : K^2 = m^2 : SY^2$ & $c : K = m : SY$.

PROPOSITIO XVII. PROBLEMA IX.

Poſito quod vis centripeta ſit reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ locorum à centro, & quod vis illius quantitas abſoluta ſit cognita; requiritur linea, quam corpus deſcribit de loco dato cum datâ velocitate ſecundum datam rectam egrediens.

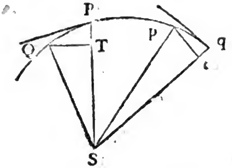
Vis centripeta tendens ad punctum S ea ſit, quâ corpus p in orbitâ quâvis datâ $p\ q$ gyretur, & cognoſcatur hujus velocitas in loco p. De loco P ſecundum lineam PR



282. Sit C, centrum Ellipſis, C B ſemiaxis minor, foci S & H, tendatque vis centripeta ad focum S; velocitas in P erit ad velocitatem in B, in ſubduplicatâ ratione diſtantiæ H P à foco H, ad diſtantiam S P ab altero foco ſeu centro virium S; Nam velocitas in P dicatur C, velocitas in B dicatur c, & erit (*per cor.* 5. *prop.* XVI.) $C : c = CB : SY$, adeóque $C^2 : c^2 = CB^2 : SY^2$, hoc eſt, ob $CB^2 = SY \times Hy$ (235.) $C^2 : c^2 = SY \times Hy : SY^2 = Hy : SY$; ſed ob ſimilia triangula SPY, HPy, $Hy : SY = HP : SP$. Ergò $C^2 : c^2 = HP : SP$, & $C : c = HP^{\frac{1}{2}}, SP^{\frac{1}{2}}$ *Q. e. D.*

Theorema illud invenit clariſſimus Geometra *Abrahamus de Moivre.*

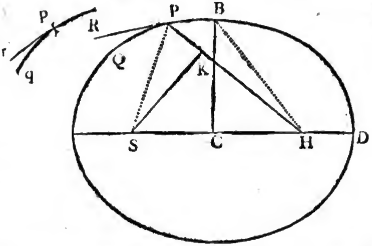
283. Velocitas angularis corporis P, in quâvis orbitâ Q P p, revolventis ſeu angulus P S Q, quem radius vector S P, dato tempore minimo deſcribit eſt directè ut Q T perpendicularis ad radium vectorem S P, & diſtantia S P inversè, dum puncta Q & P coeant, nam linea perpendicularis Q T pro arcu circuli haberi poteſt, undè angulus $PSQ = \frac{QT}{SP}$ (153.)



284. *Coroll.* 1. Hinc velocitas angularis in eâdem orbitâ eſt ubique reciprocè in duplicatâ ratione diſtantiæ S P à centro virium S. Nam ſectores P S Q, p S q, eodem tempuſculo deſcripti ſunt æquales (*prop.* I.). Undè $QT \times SP = qt \times Sp$, adeóque $QT : qt = Sp : SP$, & hinc $\frac{QT}{SP} : \frac{qt}{Sp} = \frac{Sp}{SP} : \frac{SP}{Sp} = Sp^2 : SP^2$.

285. *Coroll.* 2 ... Velocitates angulares in ſectionibus conicis circà umbilicum communem ceu centrum virium deſcriptis ſunt inter ſe ut radices quadratæ laterum rectorum principalium directè & quadrata diſ-

exeat corpus *P* cum datâ velocitate, & mox inde, cogente vi centripetâ, deflectat illud in coni ſectionem *P Q*. Hanc igitur recta *P R* tanget in *P*. Tangat itidem recta aliqua *p r* orbitam *p q* in *p*, & ſi ab *S* ad eas tangentes demitti intelligantur perpendicula, erit (*per corol.* 1. *prop.* XVI.) latus rectum principale coni ſectionis ad latus rectum principale orbitæ in ratione compoſitâ ex duplicatâ ratione perpendiculorum & duplicatâ ratione velocitatum, atque ideo datur. ([a]) Sit *L* coni ſectionis latus



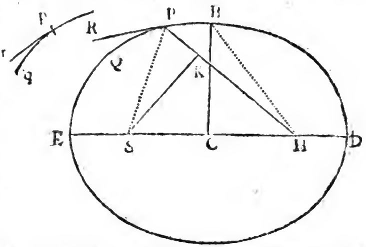
diſtantiarum inverſè. Nam, (*per prop.* XIV.) Latera recta *L*, *l*, ſunt in duplicatâ ratione ſectorum PSQ, pSq, ſimul deſcriptorum, ſeu $L^{\frac{1}{2}} : l^{\frac{1}{2}} = QT \times SP : qt \times SP$, adeóque $\frac{L^{\frac{1}{2}}}{SP} : \frac{l^{\frac{1}{2}}}{Sp} = QT : qt$; & hinc velocitates angulares ſeu anguli minimi PSQ, pSq, hoc eſt, $\frac{QT}{SP}, \frac{qt}{Sp}$, ſunt ut $\frac{L^{\frac{1}{2}}}{SP^2}, \frac{l^{\frac{1}{2}}}{Sp^2}$.

([a]) 286. Solutio hujus Problematis duas continet partes; Sit enim corpus è puncto P ſecundum lineam PR datâ cum velocitate projectum & retineatur circa punctum S per vim centripetam quæ ſit reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ locorum à Centro cujuſque quantitas abſoluta in puncto P ſit cognita, id corpus deſcribet (*per Cor.* 1. *Prop.* XIII.) ſectionem aliquam Conicam cujus 1°. quæritur Latus Rectum principale, 2°. Dato umbilico S illius ſectionis, puncto P, Tangente PR, & latere recto quæritur alter umbilicus, quo nempe invento & ex cæteris datis deſcribetur ſectio Conica quam Corpus propoſitum percurrit.

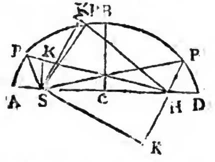
Ad primam ſolutionis partem, fingitur ſectio quælibet Conica cujus umbilicus ſit S, & alter umbilicus & latus rectum ad arbitrium ſumuntur, unde in quovis ejus puncto P duci poterit Tangens, & quantitas vis in eo puncto erit cognita, eſt enim ad vim in puncto P quæ data eſt reciprocè ut quadrata linearum Sp, SP; Invenietur etiam velocitas in eo puncto p; Nam velocitas corporis gyrantis in circulo ad diſtantiam Sp (ſive arcus in eo deſcriptus tempore quo arcus PQ deſcribitur) eſt media proportionalis inter vim centripetam in p, quæ inventa eſt, & duplam diſtantiam Sp (per naturam circuli), hæc verò eſt ad velocitatem in hâc Sectione Conicâ, ut perpendiculum ab S ad Tangentem communem demiſſum ad mediam proportionalem inter diſtantiam Sp & ſemiſſem lateris Recti iſtius ſectionis.

Cùm ergo (per Cor. 1. Prop. XVI.) *Latera Recta principalia ſectionum circa umbilicum communem deſcriptarum ſint in ratione compoſitâ ex duplicatâ ratione perpendiculorum & duplicatâ ratione velocitatum*, & ob datas Tangentes in p & P dentur perpendicula ex S in eas Tangentes demiſſa, deturque Velocitas corporis moti in P & inventa ſit velocitas in puncto p, datur ratio Lateris

rectum. Datur præterea ejuſdem coni ſectionis umbilicus *S*. Anguli *RPS* complementum ad duos rectos fiat angulus *RPH*; & dabitur poſitione linea *PH*, in quâ umbilicus alter *H* locatur. Demiſſo ad *PH* perpendiculo *SK*, erigi intelligatur ſemiaxis conjugatus *BC*, (b) & erit $SPq - 2KPH + PHq = SHq = 4CHq = 4BHq - 4BCq = \overline{SP+PH}: quad. - L \times \overline{SP+PH}$ (c) $= SPq + 2SPH + PHq - L \times \overline{SP+PH}$. Addantur utrobique $2KPH - SPq - PHq + L \times \overline{SP+PH}$, & fiet $L \times \overline{SP+PH} = 2SPH + 2KPH$, ſeu $SP + PH$ ad PH ut $2SP + 2KP$ ad L. Unde datur *PH* tam longitudine quam poſitione. Nimirum ſi ea ſit corporis in *P* velocitas, ut latus rectum *L* minus fuerit quam $2SP + 2KP$, jacebit *PH* ad eandem partem tangentis *PR*



Recti ſectionis aſſumptæ ad Latus Rectum ſectionis quam corpus P deſcribit; Quod ergo invenitur, eratque primum.



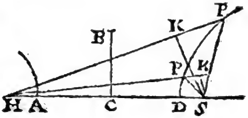
(b) *Erit* $SP^2 - 2KP \times PH + PH^2 = SH^2$, *Etenim* (*per* 12. & 13. 2. *Elem.*) in omni Triangulo SPH, quadratum lateris SH quod conſideratur ut Hypothenuſa anguli P, æquatur quadratis aliorum laterum SP PH dempto duplo Rectanguli lateris PH in quod cadit perpendiculum, ducti in partem PK ab Angulo P ad perpendiculum uſque interceptam, quæ quidem PK ſumitur cum ſigno + ſi ſit ab eâdem parte Tangentis ac S & cum ſigno − ſi ſit in parte oppoſitâ.

(c) 287. $SH^2 = 4CH^2 = 4BH^2 - 4BC^2$ &c. Ex naturâ Ellipſeos eſt 2 BH æqualis axi majori 2 AC ideoque æqualis SP + PH & $4BH^2 = \overline{SP+PH}^2$, pariter eſt 2 AC : 2 BC = 2 BC : *L* eſt ergo $4BC^2 = L \times 2AC$ ſive $L \times \overline{SP+PH}$ unde eſt $4BH^2 - 4BC^2 = \overline{SP+PH}^2 - L \times \overline{SP+PH}$.

Collatis itaque valoribus ejuſdem quantitatis SH^2, eſt $SP^2 - 2KP \times PH + PH^2 = SP^2 + 2SP \times PH + PH^2 - L \times \overline{SP+PH}$, utrinque detractis æqualibus manet $-2KP \times PH = 2SP \times PH - L \times \overline{SP+PH}$ tranſpoſitiſque partibus negativis eſt $L \times \overline{SP+PH} = 2SP \times PH + 2KP \times PH$ ſive $\overline{2SP+2KP} \times PH$ unde eſt $2SP + 2KP : L = SP + PH : PH$ & dividendo $2SP + 2KP - L : L = SP : PH$; unde

cum linea *PS*; ideoque figura erit ellipſis, & ex datis umbilicis *S*, *H*, & axe principali *SP*+*PH*, dabitur. Sin tanta ſit corporis velocitas ut latus rectum *L* æquale fuerit 2 *SP*+2 *KP*, longitudo *PH* infinita erit; & propterea figura erit parabola axem habens *SH* parallelum lineæ *PK*, & inde dabitur. Quod ſi corpus majori adhuc cum velocitate de loco ſuo *P* exeat, capienda erit longitudo *PH* ad alteram partem tangentis; ideoque tangente inter umbilicos pergente, figura erit hyperbola axem habens principalem æqualem differentiæ linearum *SP* & *PH*, & inde dabitur. Nam ſi corpus in his caſibus revolvatur in conicâ ſectione ſic inventâ, demonſtratum eſt in prop. XI, XII, & XIII, quod vis centripeta erit ut quadratum diſtantiæ corporis à centro virium *S* reciprocè; ideoque linea *PQ* rectè exhibetur, quam corpus tali vi deſcribet, de loco dato *P*, cum datâ velocitate, ſecundum rectam poſitione datam *PR* egrediens. *Q.E.F.*

Corol. 1. Hinc in omni coni ſectione ex dato vertice principali *D*, latere recto *L*, & umbilico *S*, datur umbilicus alter *H* capiendo *DH* ad *DS* ut eſt latus rectum ad differentiam inter latus rectum & 4 *DS*. (d) Nam proportio *SP*+*PH* ad *PH* ut 2 *SP*+2 *KP* ad *L* in caſu hujus corollarii, fit *DS*+*DH* ad *DH* ut 4 *DS* ad *L*, & diviſim *DS* ad *DH* ut 4 *DS*—*L* ad *L*.



unde quo magis accedit valor lateris recti *L* ad quantitatem 2 S P + 2 K P, eo major eſt P H reſpectu S P, ſi *L* = 2 S P + 2 K P, infinitam eſt S P reſpectu P H, hoc eſt, Ellipſis abit in Parabolam, ſi *L* ſit majus quam 2 S P + 2 K P, primus terminus Proportionis fit negativus, ideoque P H in partem oppoſitam Tangentis cadet & ſectio fiet Hyperbola; manentibus autem cæteris creſcit Latus Rectum cum velocitate in puncto P datâ: Unde quò major ſit velocitas reſpectu vis centripetæ, eò magis elongatur Ellipſis quam deſcribit corpus propoſitum vel etiam in Parabolâ movetur, & tandem in Hyperbolâ.

288. Demonſtratio pro Hyperbolâ ita inſtituitur: Quia P K non eſt in eâdem parte Tangentis ac S, ſumitur PK cum ſigno — ideoque eſt $SH^2 = SP^2 + 2KP \times PH + PH^2$, & per naturam Hyperbolæ $SH^2 = 4CH^2 = 4CA^2 + 4CB^2$ ſive quia $2CA = PH - SP$ & $4CB^2 = L \times 2CA$ eſt $SH^2 = PH^2 - 2SP \times PH + SP^2 + L \times \overline{PH - SP}$ unde collatis valoribus SH^2 & detractis quantitatibus communibus eſt $2KP \times PH = -2SP \times PH + L \times \overline{PH - SP}$ & tranſpoſitis quantitatibus negativis eſt $2KP \times PH + 2SP \times PH = L \times \overline{PH - SP}$ unde eſt $2SP + 2KP : L = PH - SP : PH$, & convertendo $L - 2SP - 2KP : L = SP : PH$.

(d) 289. In caſu hujus corollarii punctum P cadit in D, punctum K cadit in S, fitque P K = D S = S P, & P H = D H. Quarè in omni ſectione conicâ eſt DH, ad DS, ut latus rectum ad differentiam inter latus rectum & 4 D S.

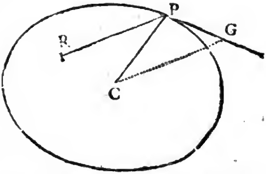
Digitized by Google

Corol. 2. Unde ſi datur corporis velocitas in vertice principali *D*, invenietur orbita expeditè, capiendo ſcilicet latus rectum ejus ad duplam diſtantiam *DS*, in duplicatâ ratione velocitatis hujus datæ ad velocitatem corporis in circulo ad diſtantiam *DS* gyrantis (*per corol.* 3. *prop.* XVI.); dein *DH* ad *DS* ut latus rectum ad differentiam inter latus rectum & 4 *DS*.

Corol. 3. Hinc etiam ſi corpus moveatur in ſectione quâcunque conicâ, & ex orbe ſuo impulſu quocunque exturbetur; cognoſci poteſt orbis, in quo poſtea curſum ſuum peraget. Nam componendo proprium corporis motum cum motu illo, quem impulſus ſolus generaret, habebitur motus quocum corpus de dato impulſus loco, ſecundum rectam poſitione datam, exibit.

Corol. 4. Et ſi corpus illud vi aliquâ extrinſecus impreſſâ continuo perturbetur, innoteſcet curſus quam proximè, colligendo mutationes quas vis illa in punctis quibuſdam inducit, & ex ſeriei analogiâ mutationes continuas in locis intermediis æſtimando.

Scholium.



Si corpus *P* vi centripetâ ad punctum quodcunque datum *R* tendente moveatur in perimetro datæ cujuſcunque ſectionis conicæ, cujus centrum ſit *C*; & requiratur lex vis centripetæ: ducatur *CG* radio *RP* parallela, & orbis tangenti *PG* occurrens in *G*; & (e) vis illa (*per corol.* 1. & *ſchol. prop.* X. & *corol.* 3. *prop.* VII.) erit ut $\frac{CG\ cub.}{RP\ quad.}$

SEC-

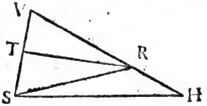
(e) 290. Vis ad centrum vel à centro C, tendens eſt ut CP, (*per coroll.* 1. *Prop.* X. & *Not.* 232.) adeòque exponatur per lineam CP; vis ad punctum R, tendens exponatur per lineam A, & (*per corol.* 3. *prop.* VII.) erit $CP \times RP^2 : CG^3 = CP : A = \frac{CG^3}{RP^2}$.

SECTIO IV.

De inventione orbium ellipticorum, parabolicorum & hyperbolicorum ex umbilico dato.

LEMMA XV.

Si ab ellipſeos vel hyperbolæ cujuſvis umbilicis duobus S, H, *ad punctum quodvis tertium* V *inflectantur rectæ duæ* SV, HV, *quarum una* HV *æqualis ſit axi principali figuræ, id eſt, axi in quo umbilici jacent, altera* SV *à perpendiculo* TR *in ſe demiſſo biſecetur in* T; *perpendiculum illud* TR *ſectionem conicam alicubi tanget: & contra, ſi tangit, erit* HV *æqualis axi principali figuræ.*

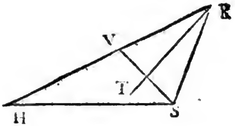


Secet enim perpendiculum *TR* rectam *HV* productam, ſi opus fuerit, in *R*; & jungatur *SR*. Ob æquales *TS*, *TV*, æquales erunt & rectæ *SR*, *VR* & anguli *TRS*, *TRV*. (f) Unde punctum *R* erit ad ſectionem conicam, & perpendiculum *TR* tanget eandem & contra. *Q. E. D.*

PRO-

(f) * Si fuerint S, & H, Ellipſeos umbilici, erit SR + RH = HV = axi majori, ac proindè R punctum perimetri Ellipſis quam TR tangit in R, ob angulos TRS, TRV, æquales (*per prop. 51. & 46. lib. 3. Conic.* Apollon. *Theor. III. & IV. de Ell.*) & contrà ſi TR tangat Ellipſim in R, & ducatur SV, ad TR perpendicularis, erit ob angulos TRS, TRV, æquales VR = SR, & VH = SR + RH = axi majori.

* Si fuerint S, & H, Hyperbolæ umbilici ob æquales TS, TV, erit SR = VR, & HR − SR = HV æqualis axi majori, & R punctum Hyperbolæ quam tangit in R recta TR ob angulos VRT, TRS, æquales (*per prop. 51. & 46, lib. 3. Conic.* Apoll. *Theor. III. & IV. de Hyperb.*) & contrà ſi TR tangat Hyperbolam in R, & agatur SV ad TR perpendicularis erit VR = SR, & HV = HR − RS, æqualis axi majori, ut patet.

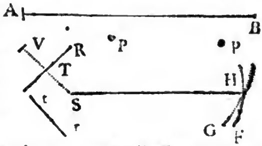


Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.

PROPOSITIO XVIII. PROBLEMA X.

Datis umbilico & axibus principalibus deſcribere trajectorias ellipticas & hyperbolicas, quæ tranſibunt per puncta data, & rectas poſitione datas contingent.



Sit *S* communis umbilicus figurarum; *AB* longitudo axis principalis trajectoriæ cujuſvis; *P* punctum per quod trajectoria debet tranſire; & *TR* recta quam debet tangere. Centro *P* intervallo *AB*—*SP*, ſi orbita ſit ellipſis, vel *AB*+*SP*, ſi ea ſit hyperbola, deſcribatur circulus *HG*. Ad tangentem *TR* demittatur perpendiculum *ST*, & producatur idem ad *V*, ut ſit *TV* æqualis *ST*; centroque *V* & intervallo *AB* deſcribatur circulus *FH*. Hac methodo ſive dentur duo puncta *P*, *p*, ſive duæ tangentes *TR*, *tr*, ſive punctum *P* & tangens *TR*, deſcribendi ſunt circuli duo. Sit *H* eorum interſectio communis, & umbilicis *S*, *H*, axe illo dato deſcribatur trajectoria. Dico factum Nam trajectoria deſcripta (eo quod *PH*+*SP* in ellipſi, & *PH*—*SP* in hyperbola æquatur axi) tranſibit per punctum *P*, & (*per lemma ſuperius*) tanget rectam *TR*. Et eodem argumento vel tranſibit eadem per puncta duo *P*, *p*, vel tanget rectas duas *TR*, *tr*. (8) *Q. E. F.*

PROPOSITIO XIX. PROBLEMA XI.

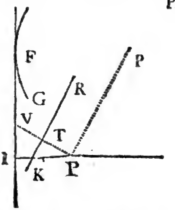
Circa datum umbilicum trajectoriam parabolicam deſcribere, quæ tranſibit per puncta data, & rectas poſitione datas continget.

Sit *S* umbilicus, *P* punctum & *TR* tangens trajectoriæ deſcribendæ. Centro *P* intervallo *PS* deſcribe circulum *FG*. Ab um-

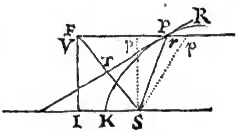
* (8) Si orbita ſit Hyperbola, focus H, erit in rectâ HS, ultra S, productâ.

Digitized by Google

umbilico ad tangentem demitte perpendicularem ST, & produc eam ad V, ut ſit TV æqualis ST. Eodem modò deſcribendus eſt alter circulus fg, ſi datur alterum punctum p; vel inveniendum alterum punctum v, ſi datur altera tangens tr; dein ducenda recta IF quæ tangat duos circulos FG, fg ſi dantur duo puncta P, p, vel tranſeat per duo puncta V, v, ſi dantur duæ tangentes TR, tr, vel tangat circulum FG & tranſeat per punctum V, ſi datur punctum P & tangens TR. Ad FI demitte perpendicularem SI, eamque biſeca in K; & axe SK, vertice principali K deſcribatur parabola. Dico factum. (h) Nam parabola, ob æquales SK & IK, SP & FP, tranſibit per punctum P; & (*per lem.* XIV. *corol.* 3.) ob æquales ST & TV & angulum rectum STR, tanget rectam TR. *Q. E. F.*



PRO-



(h) 291. *Nam Parabola ob æquales SK & IK, SP & FP, tranſibit per punctum P* ſcilicet Parabola deſcripta *ob æquales SK & IK* habet pro directrice lineam IF (*per Theor. II de Parab. n.* 224. *de Conicis*), cùm verò diſtantia puncti cujuſvis Parabolæ à Directrice ſit æqualis diſtantiæ ejus puncti à foco, vice verſà, punctum quod æqualiter à foco & à Directrice diſtabit, pertinebit ad Parabolam. Finge enim lineam FP Directrici perpendicularem occurrere quidem Parabolæ in puncto P, ita ut ſit $FP = SP$, ſed in eâ poſſe ſumi aliud punctum p ita ut ſit etiam $Sp = Fp = FP \pm Pp$, erit ob $FP = SP$, $Sp = SP \pm Pp$ ſed cùm SPp ſit Triangulum, abſurdum eſt (*per* 20. 1. *Elem.*) eſſe $Sp = SP \pm Pp$ ergo abſurdum eſt fingere aliud Punctum præter id quod ad Parabolam pertinet tale ut ejus diſtantiâ à directrice ſit æqualis ejus diſtantiæ à foco, ergo *ob æquales SP & FP*, Parabola cujus directrix eſt IF & umbilicus S *tranſibit per punctum P.*

2us. *Caſus.* Parabola deſcripta *ob æquales ST, TV, ob angulum Rectum STR tanget rectam TR*, ejus enim Parabolæ deſcriptæ directrix eſt VI. Jam verò ducatur ex V perpendicularis in directricem quæ rectæ TR occurrat in r & ab r ducatur ad focum linea rS, ob æquales ST TV & angulum rectum STR erit $Vr = rS$ & punctum r ad Parabolam pertinebit per ſuperiorem demonſtrationis partem, eâdem ratione probabitur angulum VrT æqualem eſſe angulo TrS ideoque linea Tr biſariam dividit angulum VrS, ſed ea linea Parabolæ Tangens eſt quæ biſariam dividit angulum quem faciunt duæ lineæ ductæ à puncto quovis Parabolæ una ad focum altera perpendiculariter ad directricem (*per Theor.* III. *de Parabola* n. 224.) ergo linea TR tangit Parabolam deſcriptam ſive *Parabola deſcripta tanget Rectam TR.*

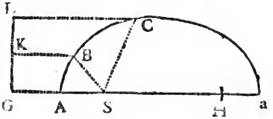
Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.

PROPOSITIO XX. PROBLEMA XII.

Circa datum umbilicum trajectoriam quamvis ſpecie (i) *datam deſcribere, quæ per data puncta tranſibit & rectas tanget poſitione datas.*

Caſ. 1. Dato umbilico *S*, deſcribenda ſit trajectoria *ABC* per puncta duo *B*, *C*. Quoniam trajectoria datur ſpecie, dabitur ratio axis principalis ad diſtantiam umbilicorum. In ea ratione cape *KB* ad *BS*, & *LC* ad *CS*. Centris *B*, *C*, intervallis *BK*, *CL*, deſcribe circulos duos, & ad rectam *KL*, quæ tangat eoſdem in *K* & *L*, demitte perpendiculum *SG*, idemque ſeca in *A* & *a*, ita ut ſit *GA* ad *AS* & *Ga* ad *aS* ut eſt *KB* ad *BS* & axe *Aa*, verticibus *A*, *a*, deſcribatur trajectoria. Dico factum. Sit enim *H* umbilicus alter figuræ deſcriptæ, & cum ſit *GA* ad *AS* ut *Ga* ad *aS*, erit diviſim *Ga*—*GA* ſeu *Aa* ad *aS*—*AS* ſeu *SH* in eâdem ratione, ideoque in ratione quam habet axis principalis figuræ deſcribendæ ad diſtantiam umbilicorum ejus; (k) & propterea figura deſcripta eſt ejuſdem ſpeciei cum deſcribenda. (l) Cumque ſint *KB* ad *BS* & *LC* ad *CS* in eâdem ratione, tranſibit hæc figura per puncta *B*, *C*, ut ex conicis manifeſtum eſt.



(i) 292. Sectiones conicæ ſunt ejuſdem ſpeciei, ſeu ſimiles, quarum axes duo, vel quod idem eſt, axis major & focorum diſtantia ſunt inter ſe in datâ ratione; Ex hâc enim ratione unicè pendent partium ſectionis ratio ac reſpectiva poſitio, atque hinc fit ut parabolæ omnes ſimiles ſint quod in omnibus focorum diſtantia infinita majori axi æqualis ſit.

(k) * Si deſcribenda ſit hyperbola, punctum a, ſumi debet in perpendiculo SG, ad alteram partem lineæ GL, producto ut ſit G, inter A, & a, tumque erit Ga+GA, ſeu Aa ad aS+AS, ſeu SH, in ratione GA ad AS, adeóque in ratione quam habet axis principalis hyperbolæ deſcribendæ ad diſtantiam umbilicorum ejus, & propterea hyperbola deſcripta ſimilis eſt hyperbolæ deſcribendæ.

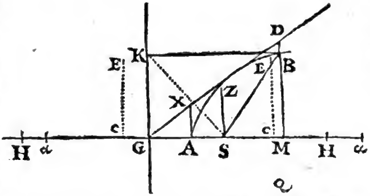
(l) Ut demonſtretur *puncta B & C ad Sectionem Conicam deſcriptam pertinere*, quædam prævia ex Conicis ſunt uſurpanda.

293. *Lemma*... Sit ſectionis conicæ AZB, axis major Aa, foci S, H, ſemiaxis minor cE erectâ ad axem perpendiculari SZ per punctum Z, ducatur tangens DZG quæ axi occurrat in G; tum ex punctis G, A, & quovis alio axis puncto M, erigantur ad axem perpendiculares GK, AX, MBD, & ex puncto ſectionis B, ducatur ad GK, perpendicularis BK, erit 1°. $SZ = \frac{1}{2} L$, ſeu dimidio lateri recto, etenim ordinata in foco eſt ſemper æqualis ſemilateri Recto, (*per Theor. III. de Ell. & Hyp. & Cor. 2. Theor. I. de Parab. n.* 224.)

294.

Digitized by Google

294. 2°. Erit GA ad AS ſicut axis major ad diſtantiam focorum, hoc eſt $GA : AS = Aa : SH$; Nam cum G ſit punctum in quo Tangens ſecat Diametrum, ejus diſtantiæ GA, Ga, ab utroque vertice ſunt inter ſe ſicut abſciſſæ AS Sa ab utroque vertice Diametri ſumptæ, ſive eſt (*per Lem. V. de Conic. n.* 224.) $GA : Ga = AS : Sa$ & convertendo $GA : Aa = AS : Sa - AS$ ſive SH (quia $AS = Ha$) ergo alternando $GA : AS = Aa : SH$.



295. 3°. Erit factum $GS \times Sc$ æquale quadrato ſemi axis minoris, nam quia eſt $GA : AS = Aa : SH$, eſt componendo $GS : AS = SH + Aa : SH$, & ſumendo dimidium terminorum ultimæ rationis eſt $GS : AS = Sc + ca$ (ſive Sa) : Sc, eſt ergo $GS \times Sc = AS \times Sa$, ſed factum $AS \times Sa$, (partium ab uno foco ad utrumque axis majoris verticem ſumptarum) eſt ſemper æquale quadrato ſemi axis minoris, nam id factum æquatur in Ellipſi $cA^2 - cS^2$ (*per* 5. 2. *Elem.*) & in Hyperbola $cS^2 - cA^2$ (*per* 6. 2. *Elem.*) utrumque verò æquatur quadrato ſemi axis minoris per naturam focorum (*Theor. III. de Hyper. & Ellip.* 224.) eſt ergo $GS \times Sc = cE^2$.

296. 4°. Perpendicularis AS in axis Vertice A erecta & terminata ad Tangentem in extremitate Z ordinatæ quæ inſiſtit foco S eſt æqualis AS diſtantiæ foci à Vertice... Nam cùm ob Triangula ſimilia XGA ZGS ſit $GA : AX = GS : SZ$ ſive $\frac{1}{2} L = \frac{2cE^2}{2cA}$ & ſit $cE^2 = GS \times Sc$ eſt $GA : AX = GS : \frac{GS \times Sc}{cA} = cA : Sc$ (& duplicando hos terminos) $= Aa : SH$, ſed in eadem ratione eſt GA ad AS (294) ergo $GA : AX = GA : AS$ & $AX = AS$.

In Parabolâ idem verum eſt, in ea enim eſt $GA = AS$, $GS = 2AS$ & $SZ \frac{1}{2} L = 2AS$ (*Cor. I. Lem. V. de Con.* 224). Ergo hæc proportio $GA : AX = GS : SZ$ in hanc mutatur $AS : AX = 2AS : 2AS$ ergo $AS = AX$.

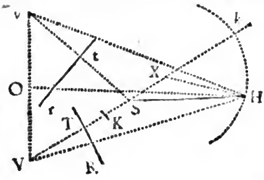
297. 5°. Linea à foco S, ad curvæ punctum quodvis B ducta eſt æqualis lineæ DM, quæ per id punctum tranſit, & perpendiculariter ad axim ducitur, terminaturque hinc ab axi, illinc à Tangente GZ. Produc enim DM ad Q ubi iterum occurrit Sectioni Conicæ ſitque $MQ = BM$, erit (*per Cor.* 2. *Lem.* III. de Conic. *n.* 224.) $ZX^2 : ZD^2 = AX^2 : DM \times DP$ (ſive $DM^2 - BM^2$ *per* 6. 2. *Elem.*) ſed ob Parallelas AX, SZ, MD eſt $ZX : ZD = AS : SM$ & $ZX^2 : ZD^2 = AS^2 : SM^2$. Ergo eſt $AS^2 : SM^2 = AX^2$ (ſive AS^2 per 296) : $DM^2 - BM^2$ unde eſt $SM^2 = DM^2 - BM^2$ & addendo utrinque BM^2, $SM^2 + BM^2$ (ſive SB^2 *per* 47. 1. *Elem.*) $= DM^2$ & $SB = DM$.

298. 6°. Si ex ſectionis quovis puncto B, ducatur perpendicularis BK ad lineam GK, & linea BS ad focum, erit ſemper $KB : BS = GA : AS$, nam propter Triangula ſimilia GMD GAX, eſt GM (ſive KB ob Parallelas GM & KB, GK & MB) : MD (ſive BS per 297) $= GA : AX$ (ſive AS per 296) hoc eſt $KB : BS = GA : AS$ ideoque $KB : BS = Aa : SH$ quoniam $GA : AS = Aa : SH$ (per 294).

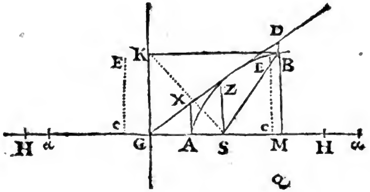
299. Converſa etiam vera eſt ſi ducatur perpendicularis in lineam GK, & in ea ſumatur B, ita ut ſit $KB : BS = GA : AS = Aa : SH$ punctum B eſt in Sectione Conicâ deſcriptâ.

Sit enim Sectio Hyperbola aut Parabola, illa in unico puncto B ſecabitur per lineam KB, eritque (per 298) $KB : BS = Aa : SH$, dico autem nullum aliud punctum β ſumi poſſe in ea linea KB producta ſi lubet, ita ut ſit $KB : BS = Aa : SH$, fingatur enim dari illud punctum β, ſubtrahanturque termini duarum priorum rationum à ſe mutuo, erit $KB - K\beta$ (ſive $B\beta$) : $BS - \beta S = Aa : SH$ ſed quia in Hyperbola eſt Aa, minor quam SH, & in Parabola ei eſt æqualis, erit $B\beta$ mi-

Caſ. 2. Dato umbilico *S*, deſcribenda ſit trajectoria quæ rectas duas *TR*, *tr* alicubi contingat. Ab umbilico in tangentes demitte perpendicula *ST*, *St* & produc eadem ad *V*, *v*, ut ſint *TV*, *tv*, æquales *TS*, *tS*. Biſeca *Vv* in *O*, & erige perpendiculum infinitum *OH*, rectamque *VS* infinite productam ſeca in *K* & *k*, ita ut ſit *VK* ad *KS* & *Vk* ad *kS* ut eſt trajectoriæ deſcribendæ



axis



nor aut æqualis differentiæ SB — Sβ, ſed SBβ eſt Triangulum, ergo abſurdum eſt (*per* 20. 1. *Elem.*) unum ejus latus ut Bβ eſſe minus aut æquale differentiæ aliorum, non datur ergo punctum illud β.

2°. Sectio ſit Ellipſis; Ducatur SK; ſi GK ſit æqualis ſemi axi minori, erit SK : GK = Aa : SH nam (per 295) eſt GS : cE (ſive GK ex Hyp.) = cE : Sc & $GS^2 : GK^2 = cE^2 : Sc^2$, & componendo $GS^2 + GK^2$ (ſive SK^2 *per* 47. 1. *Elem.*) : $GK^2 = cE^2 + Sc^2$) ſive cA^2 per nat. focorum : Sc^2 & SK : GK = cA : Sc & duplicando terminos poſterioris rationis eſt SK : GK = Aa : SH.

Si GK ſit major quàm cE erit $GS^2 : GK^2$ in minori ratione quam cE^2 ad Sc^2, & componendo erit $GS^2 + GK^2$ ſive SK^2 ad GK^2 in minori ratione quam $cE^2 + Sc^2$ ad Sc^2 unde tandem deducetur in hoc caſu eſſe SK ad GK in minori ratione quàm Aa ad SH.

Et pariter ſi GK ſit minor quàm cE, erit SK ad GK in majori ratione quàm Aa ad SH.

Sed (*per princ. Trigo.*) eſt in Triang. SKG, ſinus totalis ad ſinum ang. KSG (ſive ad ſinum anguli SKB huic æqualem ob Parallelas GS KB), ſicut KS ad KG. Ergo ratio ſinus totalis ad ſin. Ang. SKB, æqualis eſt rationi Aa ad SH, ſi GK ſit æqualis cE, eſt illa minor ſi GK ſuperet cE, eſt illa major ſi GK minor ſit quàm cE.

Ut verò lineæ KP BS habeant rationem Aa ad SH, oportet ut in Triang. KBS, ſinus angulorum KSB SKB ſint in eâ ratione Aa ad SH; Ergo ſi GK ſit æqualis cE, eſt Sinus totalis: Sin. SKB = Sin. KSB: Sin. SKB, ideoque in hoc caſu erit Sin. tot = Sin. KSB, hoc eſt, linea SB erit perpendicularis in SK, unica ergo erit, unicumque punctum B, ſicut etiam linea KB in unico puncto Sectioni Conicæ occurret.

Si

axis principalis ad umbilicorum diſtantiam. Super diametro Kk deſcribatur circulus ſecans OH in H, & umbilicis S, H, axe principali ipſam VH æquante, deſcribatur trajectoria. Dico factum. Nam biſeca Kk in X, & junge HX, HS, HV, Hv. Quoniam eſt VK ad KS ut Vk ad kS; & compoſite ut $VK+Vk$ ad $KS+kS$; diviſimque ut $Vk-VK$ ad $kS-KS$, id eſt, (m) ut $2VX$ ad $2KX$ & $2KX$ ad $2SX$, ideoque ut VX ad HX & HX ad SX, ſimilia erunt triangula VXH, HXS, & propterea VH erit ad SH ut VX ad XH, ideoque ut VK ad KS. Habet igitur trajectoriæ deſcriptæ axis principalis VH eam rationem ad ipſius umbilicorum diſtantiam SH, quam habet trajectoriæ deſcribendæ axis principalis ad ipſius umbilicorum diſtantiam, & propterea ejuſdem eſt ſpeciei. Inſuper cum VH, vH æquentur axi principali, & VS, vS à rectis TR, tr perpendiculariter biſecentur, liquet (ex lem. xv.) rectas illas trajectoriam deſcriptam tangere. *Q. E. F.* (n)

Caſ.

Si G K ſit major c E eſt ſin. totalis ad ſin. SKB in minori ratione quam ſin. K S B ad ſin. S K B, unde ſinus totalis minor eſſe deberet ſinu K S B quod quidem eſt abſurdum, nulla ergo duci poterit linea S B quæ determinet punctum B tale ut ſit KB ad S B ſicut A a ad S H, ſicut etiam in eo caſu linea K B nullibi occurrit Sectioni Conicæ.

Denique ſi G K ſit minor c E, eſt ſin. tot. ad ſin. S K B in majori ratione quam ſinus KSB ad ſin. SKB, dabitur ergo ſinus K S B, ſed ut ad acutum vel obtuſum angulum æqualiter pertinet duæ duci poterunt lineæ S B (ſed non plures) quæ requiſitam cum K B habeant rationem, ut etiam linea K B hoc in caſu duobus in punctis Ellipſim ſecat.

Ergo ſi $KB : BS = GA : AS = Aa : SH$ punctum B eſt in ſectione Conicâ.

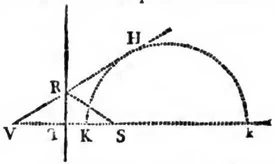
Ex his autem liquet curvam ſecundùm *Newtonianam* ſolutionem deſcriptam tranſire per puncta B & C, omnia enim planè conveniunt ad Lemmatis (293) Hypotheſim.

In iis omnibus parabolam uſurpamus pro ellipſi in quâ diſtantia focorum infinita eſt, ac proindè axi majori æqualis.

(m) * *Id eſt, ut 2VX ad 2KX, & 2KX ad 2SX*; nam $KX = kX = HX$ (per conſtr.) adeóque $VK + Vk = 2VK + 2KX = 2VX$, & $KS + kS = Kk = Vk - VK = 2KX$; & quia $kS - KS = kX + SX = KX + SX = KS + 2SX$, erit $kS - KS = 2SX$, adeóque $VK : KS = VX : HX = HX : SX$. Quare ſimilia erunt triangula VXH, HXS, quorum latera VX & XH, HX & XS, proportionalia communem angulum X, complectuntur.

(n) * Si deſcribenda ſit hyperbola, in SV, versùs V productâ, ità ſumantur puncta K, k, ut inter utrumque poſitum ſit V, cæteraque fiant ut NEWTONUS præſcribit, & quoniam $VK : KS = Vk : kS$, erit $Vk - VK : kS - KS = VK : KS = VK + Vk : KS + kS$, ſed $Vk - VK = 2VX$, $kS - KS = 2KX$, $VK + Vk = 2KX$; & $KS + kS = 2SX$. Reliqua demonſtratio eadem eſt ac pro ellipſi.

Caſ. 3. Dato umbilico *S* deſcribenda ſit trajectoria quæ rectam *TR* tanget in puncto dato *R*. In rectam *TR* demitte perpendicularem *ST*, & produc eandem ad *V*, ut ſit *TV* æqualis *ST*. Junge *VR* & rectam *VS* infinite productam ſeca in *K* & *k*, ita ut ſit *VK* ad *SK* & *Vk* ad *Sk* ut ellipſeos deſcribendæ axis principalis ad diſtantiam umbilicorum: circuloque ſuper diametro *Kk* deſcripto ſecetur producta recta *VR* in *H*, & umbilicis *S*, *H*, axe principali rectam *VH* æquante, deſcribatur trajectoria. Dico factum. Namque *VH* eſſe ad *SH* ut *VK* ad *SK* atque ideo ut axis principalis trajectoriæ deſcribendæ ad diſtantiam umbilicorum ejus, (°) patet ex demonſtratis in caſu ſecundo, & propterea trajectoriam deſcriptam ejuſdem eſſe ſpeciei cum deſcribendâ, rectam vero *TR* quâ angulus *VRS* biſecatur, tangere trajectoriam in puncto *R*, patet ex conicis. *Q. E. D.*

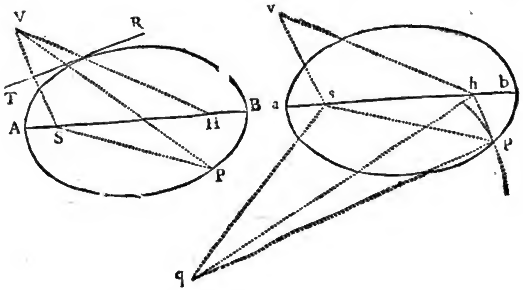


Caſ. 4. Circa umbilicum *S* deſcribenda jam ſit trajectoria *APB*, quæ tangat rectam *TR*, tranſeatque per punctum quodvis *P* extra tangentem datum, quæque ſimilis ſit figuræ *aph*, axe principali *ab* & umbilicis *s*, *h* deſcriptæ. In tangentem *TR* demitte perpendiculum *ST*, & produc idem ad *V*, ut ſit *TV* æqualis *ST*. Angulis autem *SVP*, *SPV* fac angulos *hsq*, *shq* æquales; centroque *q* & intervallo quod ſit ad *ab* ut *SP* ad *VS* deſcribe circulum ſecantem figuram *apb* in *p*. Junge *sp* & age *SH* quæ ſit ad *sh* ut eſt *SP* ad *sp*, quæque angulum *PSH* angulo *psh* & angulum *VSH* angulo *psq* æquales conſtituat. Denique umbilicis *S*, *H*, & axe principali *AB* diſtantiam *VH* æquante, deſcribatur ſectio conica. Dico factum. Nam ſi agatur *sv* quæ ſit ad *sp* ut eſt *sh* ad *sq*, quæque

(°) * Centro circuli litterâ X notato, jungantur HX, HS, HV, & eadem eſt demonſtratio quæ caſus 2i pro ellipſi, & ſi producatur RV, SV, verſùs V, ut punctum V; ſitum ſit inter K & k, eadem quoque erit demonſtratio pro hyperbolâ.

Digitized by Google

que conſtituat angulum *vsp* angulo *hsq* & angulum *vsh* angulo *psq* æquales, triangula *svh*, *spq* erunt ſimilia, & propterea *vh*



erit ad *pq* ut eſt *sh* ad *sq*, id eſt (ob ſimilia triangula *VSP*, *hsq*) ut eſt *VS* ad *SP* ſeu *ab* ad *pq*. Æquantur ergo *vh* & *ab*. Porro (p) ob ſimilia triangula *VSH*, *vsh*, eſt *VH* ad *SH* ut *vh* ad *sh*, id eſt, axis conicæ ſectionis jam deſcriptæ ad illius umbilicorum intervallum, ut axis *ab* ad umbilicorum intervallum *sh*; & propterea figura jam deſcripta ſimilis eſt figuræ *aph*. Tranſit autem hæc figura per punctum *P*, (q) eo quod triangulum *PSH* ſimile ſit triangulo *psh*; & quia *VH* æquatur ipſius axi & *VS* biſecatur perpendiculariter à recta *TR*, tangit eadem rectam *TR*. (r) *Q. E. F.*

L E M-

* (p) Similia ſunt triangula VSH, vsh, nam (*per conſtr.*) angulus VSP = hsq = vsp, & angulus HSP = hsp, adeóque angulus VSH = vsh; & præterea sp : sh = SP : SH, & sv : sp = sh : sq = SV : SP, ob ſimilia triangula VSP, hsq; quarè ex æquo sv : sh = SV : SH, triangula igitur VSH, vsh, quorum latera proportionalia æquales angulos complectuntur ſunt ſimilia.

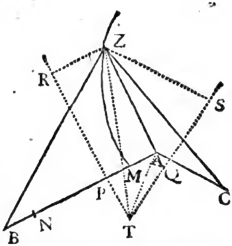
* (q) Nam ſi ducatur recta SP, perimetro figuræ occurrens in P, & angulum PSH, æqualem faciens angulo psh, patet ob ſimilitudinem ſectionum conicarum, triangula duo PSH, psh, fore ſimilia; undè viciſſim manifeſtum eſt punctum P, eſſe in perimetro figuræ, ſi triangulum PSH, ſimile ſit triangulo psh.

* (r) Eadem eſt conſtructio ac demonſtratio pro hyperbolâ, ſi foci H, h, & vertices B, b, ad contrariam partem transferantur.

Digitized by Google

LEMMA XVI.

A datis tribus punctis ad quartum non datum inflectere tres rectas quarum differentiæ vel dantur vel nullæ ſunt.



Caſ. 1. Sunto puncta illa data *A*, *B*, *C* & punctum quartum *Z*, quod invenire oportet; ob datam differentiam linearum *AZ*, *BZ*, locabitur punctum *Z* in hyperbola cujus umbilici ſunt *A* & *B*, & principalis axis differentia illa data. Sit axis ille *MN*. Cape *PM* ad *MA* ut eſt *MN* ad *AB*, & erecta *PR* perpendiculari ad *AB*, demiſſaque *ZR* perpendiculari ad *PR*; erit, ([f]) ex naturâ hujus hyperbolæ, *ZR* ad *AZ* ut eſt *MN* ad *AB*. Simili diſcurſu punctum *Z* locabitur in aliâ hyperbolâ, cujus umbilici ſunt *A*, *C* & principalis axis differentia inter *AZ* & *CZ*, ducique poteſt *QS* ipſi *AC* perpendicularis, ad quam ſi ab hyperbolæ hujus puncto quovis *Z* demittatur normalis *ZS*, hæc fuerit ad *AZ* ut eſt differentia inter *AZ* & *CZ* ad *AC*. Dantur ergo rationes ipſarum *ZR* & *ZS* ad *AZ*, & idcirco datur earundem *ZR* & *ZS* ratio ad invicem; ideoque ſi rectæ *RP*, *SQ* concurrant in *T*, & agantur *TZ* & *TA*, figura *TRZS* dabitur ſpecie, & recta *TZ* in qua punctum *Z* alicubi locatur, dabitur poſitione. Dabitur etiam recta *TA*, ut & angulus *ATZ*; & ob datas rationes ipſarum *AZ*

* ([f]) Erit ex naturâ hujus hyperbolæ Z R, ad A Z, ut eſt M N, ad A B, (298).

Digitized by Google

AZ ac (t) *TZ* ad *ZS* dabitur earundem ratio ad invicem; & inde dabitur triangulum *ATZ*, cujus vertex eſt punctum *Z*. *Q. E. I.*

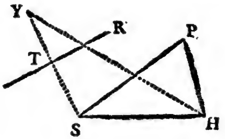
Caſ. 2. Si duæ ex tribus lineis, puta *AZ* & *BZ*, æquantur, ita age rectam *TZ*, ut biſecet rectam *AB*; dein quære triangulum *ATZ* ut ſupra.

Caſ. 3. Si omnes tres æquantur, locabitur punctum *Z* in centro circuli per puncta *A*, *B*, *C* tranſeuntis. *Q. E. I.*

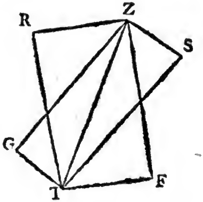
Solvitur etiam hoc lemma problematicum per librum Tactionum *Apollonii* à *Vieta* reſtitutum.

PROPOSITIO XXI. THEOREMA XIII.

Trajectoriam circa datum umbilicum deſcribere, quæ tranſibit per puncta data & rectas poſitione datas continget.



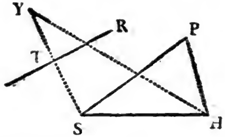
Detur umbilicus *S*, punctum *P*, & tangens *TR*, & inveniendus ſit umbilicus alter *H*. Ad tangentem demitte perpendiculum *ST*, & produc idem ad *Y*, ut ſit *TY* æqualis *ST*, & erit *YH* æqualis axi principali. Junge *SP*, *HP*, & erit *SP* diffe-



(t) 300. Et recta T Z, in quâ punctum Z, alicubi locatur, dabitur poſitione; ductis enim T F ad R T, & T G ad S T perpendicularibus, quæ ſint in ratione datâ R Z ad Z S, agantur G Z, F Z, ipſis T S, R T parrallelæ & ſe mutuò interſecantes in puncto aliquo Z, juncta T Z, habebit poſitionem quæſitam; patet enim perpendicula Z S, Z R, ex puncto Z, in rectas T S, T R, demiſſa, eſſe lineis T G, T F æqualia adeóque in datâ ratione.

Digitized by Google

differentia inter *HP* & axem principalem. (ᵘ) Hoc modo ſi dentur plures tangentes *TR*, vel plura puncta *P*, devenietur ſemper ad lineas totidem *YH*, vel *PH*, à dictis punctis *Y* vel *P* ad umbilicum *H* ductas, quæ vel æquantur axibus, vel datis longitudinibus *SP* differunt ab iiſdem, atque ideo quæ vel æquantur ſibi invicem, vel datis habent differentias; & inde, per lemma ſuperius, datur umbilicus ille alter *H*. Habitis autem umbilicis una cum axis longitudine (quæ vel eſt *YH*; vel, ſi trajectoria ellipſis eſt, *PH*+*SP*; ſin hyperbola, *PH*—*SP*) habetur trajectoria. *Q. E. I.*

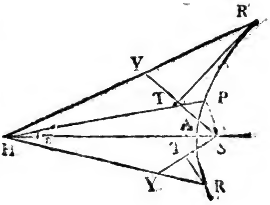


Scholium.

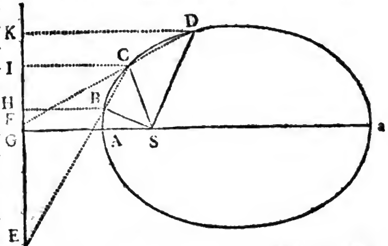
Ubi trajectoria eſt hyperbola, ſub nomine hujus trajectoriæ oppoſitam hyperbolam non comprehendo. Corpus enim pergendo in motu ſuo, in oppoſitam hyperbolam tranſire non poteſt.

Caſus.

(ᵘ) 301. Si dentur tres tangentes, dabuntur tria puncta ut Y, ex quibus ad umbilicum H, inflectendæ erunt tres rectæ æquales ut YH, quod fit per Caſ. 3. Lemmatis ſuperioris. Si duæ dentur tangentes & punctum perimetri ſectionis P, dabuntur duo puncta ut Y, ex quibus ad umbilicum H, inflectendæ erunt duæ rectæ æquales, & 3ᵘᵐ punctum P, ex quo ducenda PH, cujus differentia à lineâ YH, eſt data SP. Nam in ellipſi PH + SP = YH, adeóque YH — PH = SP; in hyperbolâ PH — SP = YH, undè PH — YH = SP, eſtque Caſus 2us Lem. XVI. Tandem ſi dentur tria perimetri puncta ut P, locum habet Caſus 1us ejuſdem Lemmatis.



Caſus ubi dantur tria puncta ſic ſolvitur expeditius. Dentur puncta *B*, C, *D*. Junctas *BC*, *CD* produc ad *E*, *F*, ut ſit *EB* ad *EC* ut *SB* ad *SC*, & *FC* ad *FD* ut *SC* ad *SD*. Ad *EF* ductam & productam demitte normales *SG*, *BH*, inque *GS* infinite productâ cape *GA* ad *AS* & *Ga* ad *aS* ut eſt *HB* ad *BS*; & erit *A* vertex, & *Aa* axis principalis trajectoriæ: quæ, perinde ut *GA* major, æqualis, vel minor fuerit quam *AS*, erit ellipſis, parabola vel hyperbola; puncto *a* in primo caſu cadente ad eandem partem lineæ *GF* cum puncto *A*; in ſecundo caſu abeunte in infinitum; in tertio cadente ad contrariam partem lineæ *GF*. Nam ſi demittantur ad *GF* perpendicula *CI*, *DK*; erit *IC* ad *HB* ut *EC* ad *EB*, hoc eſt, ut *SC* ad *SB*; & viciſſim *IC* ad *SC* ut *HB* ad *SB* ſive ut *GA* ad *SA*. Et ſimili argumento probabitur eſſe *KD* ad *SD* in eâdem ratione. (*) Jacent ergo puncta *B*, *C*, *D* in coni ſectione circa umbilicum *S* ita deſcripta, ut rectæ omnes, ab umbilico *S* ad ſingula ſectionis puncta ductæ, ſint ad perpendicula à punctis iiſdem ad rectam *GF* demiſſa in datâ illâ ratione.



Methodo haud multum diſſimili hujus problematis ſolutionem tradit clariſſimus Geometra *de la Hire*, Conicorum ſuorum lib. VIII. prop. XXV.

SEC-

(*) * *Jacent ergo puncta* B, C, D, *in Coni Sectione* (vide n. 298.)

Digitized by Google

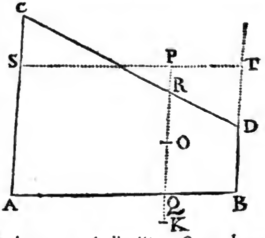
SECTIO V.

Inventio orbium ubi umbilicus neuter datur.

LEMMA XVII.

Si à datæ conicæ ſectionis puncto quovis P *ad trapezii alicujus* ABDC, *in conicâ illâ ſectione inſcripti, latera quatuor infinitè producta* AB, CD, AC, DB *totidem rectæ* PQ, PR, PS, PT *in datis angulis ducantur, ſingulæ ad ſingula: rectangulum ductarum ad oppoſita duo latera* PQ×PR, *erit ad rectangulum ductarum ad alia duo latera oppoſita* PS×PT *in datâ ratione.*

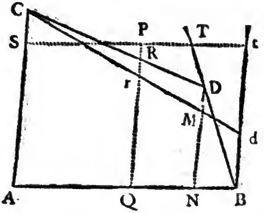
Caſ. 1. Ponamus primò lineas ad oppoſita latera ductas parallelas eſſe alterutri reliquorum laterum, putà *PQ* & *PR* lateri *AC*, & *PS* ac *PT* lateri *AB*. Sintque inſuper latera duo ex oppoſitis, putà *AC* & *BD*, ſibi invicem parallela. Et recta, quæ biſecat parallela illa latera, erit una ex diametris conicæ ſectionis, & biſecabit etiam *RQ*. Sit *O* punctum in quo *RQ* biſecatur, & erit *PO* ordinatim applicata ad diametrum illam. Produc *PO* ad *K*, ut ſit *OK* æqualis *PO*, & erit *OK* ordinatim applicata ad contrarias partes diametri. Cum igitur puncta *A*, *B*, *P* & *K* ſint ad conicam ſectionem, & *PK* ſecet *AB* in dato angulo, erit (*per prop.* 17, 19, 21 & 23. *lib.* III. Conicorum *Apollonii*) rectangulum *PQK* ad rectangulum *AQB* in datâ ratione. (γ) Sed *QK* & *PR* æqua-



(γ) *Erit Rectangulum PQK ad Rectangulum AQB in datâ ratione.* Liquet (*per Lem.* III. *de Conic.*) quod ſi linea quævis in Sectione Conicâ terminata ut P, K ſecet aliam

æquales ſunt, utpote æqualium *OK*, *OP*, & *OQ*, *OR* differentiæ, & inde etiam rectangula *PQK* & *PQ*×*PR* æqualia ſunt; atque ideo rectangulum *PQ*×*PR* eſt ad rectangulum *AQB*, hoc eſt ad rectangulum *PS*×*PT* in datâ ratione. *Q. E. D.*

Caſ. 2. Ponamus jam trapezii latera oppoſita *AC* & *BD* non eſſe parallela. Age *Bd* parallelam *AC* & occurrentem tum rectæ *ST* in *t*, tum conicæ ſectioni in *d*. Junge *Cd* ſecantem *PQ* in *r*, & ipſi *PQ* parallelam age *DM* ſecantem *Cd* in *M* & *AB* in *N*. Jam ob ſimilia triangula *BTt*, *DBN*; eſt *Bt* ſeu *PQ* ad *Tt* ut *DN* ad *NB*. Sic & (z) *Rr* eſt ad *AQ* ſeu *PS* ut *DM* ad *AN*. Ergo ducendo antecedentes in antecedentes & conſequentes in conſequentes, ut rectangulum *PQ* in *Rr* eſt ad rectangulum *PS* in *Tt*, ita rectangulum *NDM* eſt ad rectangulum *ANB*, & (*per caſ.* 1.) ita rectangulum *PQ* in *Pr* eſt ad rectangulum *PS* in *Pt*, (†) ac diviſim ita rectangulum *PQ*×*PR* eſt ad rectangulum *PS*×*PT*. *Q. E. D.*



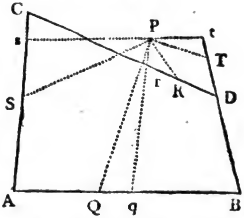
Caſ.

aliam lineam etiam in Sectione Conicâ terminatam ut A B, Rectangulum partium lineæ P K erit ad Rectangulum partium lineæ A B ut Rectangulum partium lineæ cujuſvis alius Parallelæ lineæ P K & ad Sectionem terminatæ, ad Rectangulum partium quas hæc nova linea ſecat in lineâ A B: ideo ubicumque ſit punctum P Rectangula P Q K & A Q B erunt in eâdem datâ ratione.

(z) * *R r : A Q ſeu P S = D M : A N.* Sunt enim propter parallelas R r, D M, triangula r C R M C D ſimilia, ideóque R r : D M = C r : C M; ſed eſt C r : C M = A Q vel P S : A N; ergò R r : D M = A Q, vel P S : A N & R r : P S = D M : A N.

(†) * *Ac diviſim*, Ex Demonſtratis N D M : A N B = P Q × R r : P S × T t = P Q × P r : P S × P t, & diviſim N D M : A N B = P Q × P r — P Q × R r : P S × P t — P S × T t = P Q × P R : P S × P T, ſed ratio N D M ad A N B data eſt, ergò & ratio P Q × P R ad P S × P T.

Caſ. 3. Ponamus denique lineas quatuor *PQ*, *PR*, *PS*, *PT* non eſſe parallelas lateribus *AC*, *AB*, ſed ad ea utcunque inclinatas. Earum vice age *Pq*, *Pr* parallelas ipſi *AC*; & *Ps*, *Pt* parallelas ipſi *AB*; & propter datos angulos triangulorum *PQq*, *PRr*, *PSs*, *PTt*, dabuntur rationes *PQ* ad *Pq*, *PR* ad *Pr*, *PS* ad *Ps*, & *PT* ad *Pt*; atque ideo rationes compoſitæ *PQ*×*PR* ad *Pq*×*Pr*, & *PS*×*PT* ad *Ps*×*Pt*. Sed, per ſuperius demonſtrata, ratio *Pq*×*PR* ad *Ps*×*Pt* data eſt: ergo & ratio *PQ*×*PR* ad *PS*×*PT*. *Q. E. D.*



LEMMA XVIII.

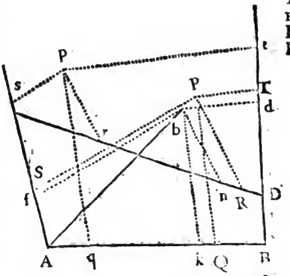
Iiſdem poſitis, ſi rectangulum ductarum ad oppoſita duo latera trapezii PQ×PR *ſit ad rectangulum ductarum ad reliqua duo latera* PS×PT *in datâ ratione; punctum* P, *à quo lineæ ducuntur, tanget conicam ſectionem circa trapezium deſcriptam.*

Per puncta *A*, *B*, *C*, *D* & aliquod infinitorum punctorum *P*, putà *p*, concipe conicam ſectionem deſcribi: dico punctum *P* hanc ſemper tangere. Si negas, junge *AP* ſecantem hanc conicam ſectionem alibi quam in *P*, ſi fieri poteſt, putà in *b*. Ergo ſi ab his punctis *p* & *b* ducantur in datis angulis ad latera trapezii rectæ *pq*, *pr*, *ps*, *pt* & *bk*, *bn*, *bf*, *bd*; erit ut *bk*×*bn* ad *bf*×*bd* ita (*per lem.* XVII.) *pq*×*pr* ad *ps*×*pt*, & ita (*per hypoth.*) *PQ*×*PR* ad *PS*×*PT*. Eſt & propter ſimilitudinem trapeziorum *bkAf*, *PQAS*, ut *bk* ad *bf* ita *PQ* ad *PS*. Quare, applicando terminos prioris proportionis ad terminos correſpondentes hujus, erit *bn* ad *bd* ut *PR* ad *PT*. (†) Ergo trapezia æquiangula *Dnbd*, *DRPT* ſimilia

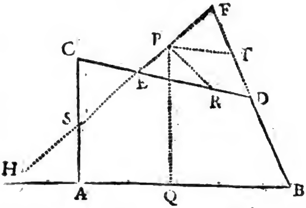
(†) * Cùm ſit bk×bn : bf×db = PQ×PR : PS×PT item bf : bk = PS : PQ erit bn : bd = PR : PT.

Digitized by Google

ſimilia ſunt, & (a) eorum diagonales *Db*, *DP* propterea coincidunt. Incidit itaque *b* in interſectionem rectarum *AP*, *DP* ideoque coincidit cum puncto *P*. Quare punctum *P*, ubicunque ſumatur, incidit in aſſignatam conicam ſectionem. *Q. E. D.* (b)



Corol. Hinc ſi rectæ tres *PQ*, *PR*, *PS* à puncto communi *P* ad alias totidem poſitione datas rectas *AB*, *CD*, ſin-



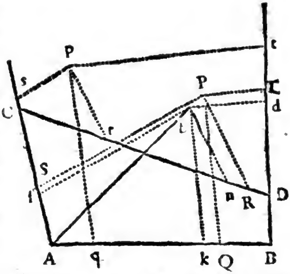
(a) *Ergò trapezia æquiangula Dnbd, DRPT, ſimilia ſunt, & eorum diagonales Dd, DP, propterea coincidunt;* nam jungantur nd, RT, & duo triangula ndb, RTP, æquiangula erunt ob latera bn, bd, & PR, PT proportionalia, & angulos nbd, RPT, æquales; quarè & duo triangula ndD, RTD, æquiangula erunt ob angulum D, communem, & angulos ad T & t, R & n, æquales, erit igitur bn : nD = PR : RD, adeóque ductis diagonalibus Db, DP, duo triangula bDn, PDR, erunt ſimilia, ac proindè angulus PDR, æqualis angulo bDn, quod eſſe non poteſt, niſi diagonales Db, DP, coincidant.

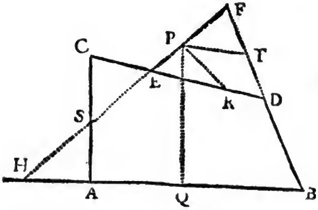
(b) 302. Lemma XVIII. per analyſim facilè demonſtrari poteſt. Producta enim PS, donec ſingulis trapezii lateribus occurrat in F, E, S, H, ob datos omnes angulos figuræ, data erit ratio laterum quibus ſingula triangula FPT, FED, PER, ECS, SHA, PHQ, clauduntur. Aſſumptis igitur CE, tanquam abſciſsâ & PE tanquam ordinatâ loci punctorum P, data erit ratio PE, ad PR, adeóque PE, in datam quantitatem ducta æquabitur ipſi PR; ob datam CD, invenietur ED, ut pote æqualis CD — CE, & per triangulum FED ſpecie datum invenietur EF, ac proindè PF = EF — EP, & inde per triangulum EPT, invenietur PT, omneſque illæ lineæ exprimentur per lineas CE, PE, unius dimenſionis, & alias datas quantitates. Similiter ES & CS & SA = CA — CS, atquè HS, per triangulum SAH, ſpecie datum, & hinc PH = HS + SE + EP, adeóque PQ, per triangulum PHQ, invenientur in lineis CE & PE, unius dimenſionis & aliis datis quantitatibus. Quare in rectangulis PQ × PR, PS × PT, rectæ variabiles CE, PE, non plures quam duas dimenſiones obtinebunt, undè æquatio quæ ex rectangulo-

Digitized by Google

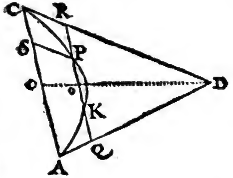
De Motu Corporum. Liber Primus.

ſingulæ ad ſingulas, in datis angulis ducantur, ſitque rectangulum ſub duabus ductis (c) $PQ \times PR$ ad quadratum tertiæ PS in datâ ratione: punctum P, à quibus rectæ ducuntur, locabitur in ſectione conicâ quæ tangit lineas AB, CD in A & C; & contra. Nam coeat linea BD cum lineâ AC, manente poſitione trium AB, CD, AC, dein coeat etiam linea PT cum lineâ PS: & rectangulum $PS \times PT$ evadet PS *quad.* rectæque AB, CD, quæ





gulorum illorum ratione datâ reperitur ſecundum gradum non ſuperabit; Cùm igitur, ut vulgò notum eſt, æquationis quadraticæ locus ſit Sectio conica, patet locum punctorum P, eſſe ad ſectionem conicam. Quod autem ſectio illa per puncta C, D, P, A, tranſeat inito calculo facilè oſtenditur, nam ſi in æquatione loci ponatur C E = o, invenietur valor unus ipſius P E = o, adeóque punctum P, cadit in C, ſi ponatur C E = C D, invenietur quoque valor unus P E = o, ac proindè punctum P, cum puncto D, coincidit; idem pari argumento reſpectu punctorum A, B, reperitur, ſi ponatur A Q = o vel A Q = A B.



(c) *Hinc ſi rectæ tres &c.* Sint tres lineæ A B, C D, A C poſitione datæ, & lineæ A B, C D tangant ſectionem conicam in A & C, & à puncto communi P ducantur tres Rectæ P Q, P R, P S in datis angulis ad ſingulas A B, C D, A C erit P Q × P R in ratione datâ ad quadratum tertiæ P S: Sit enim P S parallela lineæ D C & ſint R P, P Q parallelæ lineæ C A ſitque P K chorda Sectionis, ſumatur medium

quæ curvam in punctis *A* & *B*, *C* & *D* ſecabant, jam (†) curvam in punctis illis coeuntibus non amplius ſecare poſſunt, ſed tantùm tangent.

Scholium.

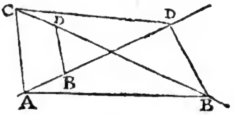
Nomen conicæ ſectionis in hoc lemmate latè ſumitur, ita ut ſectio tam rectilinea per verticem coni tranſiens, quam circularis baſi parallela includatur. ([d]) Nam ſi punctum *p* incidit in rectam, quâ puncta *A* & *D* vel *C* & *B* junguntur, conica ſectio vertetur in geminas rectas, quarum una eſt recta illa in quam punctum *p* incidit, & altera eſt recta quâ alia duo ex punctis quatuor junguntur. Si trapezii anguli duo oppoſiti ſimul ſumpti æquentur duobus rectis, & lineæ quatuor *PQ*, *PR*, *PS*, *PT* ducantur ad latera ejus vel perpendiculariter vel in angulis quibuſvis æqualibus, ſitque rectangulum ſub duabus ductis $PQ \times PR$ æquale rectangulo ſub duabus aliis $PS \times PT$, ſectio conica eva-

dium O chordæ AC ducaturque per punctum D, DO, quæ ſecabit tam chordam PK quam totam RQ in medio (*vide Lem.* IV. *de Conic. n.* 224.) hinc erit $RK = PQ$, ſed eſt (*per Cor.* 2. *Lem.* III. *de Conic. n.* 224.) CR^2 ad $RP \times RK$ in datâ ratione, ideoque eſt CR^2 ad $RP \times PQ$ in datâ ratione, ſed ob parallelas CR SP & CS RP eſt $PS = CR$, ergo PS^2 eſt ad $RP \times PQ$ in datâ ratione.

Si lineæ PS, RP, PQ in aliis ſed datis angulis ad lineas AC CD AD inclinentur, dabuntur earum rationes ad has priores, unde deducetur eodem modo ac in Lemmate XVII, in iſto etiam caſu fore SP^2 ad $RP \times PQ$ in datâ ratione.

Pariter & converſa demonſtrabitur ut Lemm. XVIII.

(†) * *Jam curvam in punctis illis coeuntibus non amplius ſecare poſſunt, ſed tantùm tangent*; puncta enim A & B, C & D, ſemper ſupponuntur in conicæ ſectionis perimetro poſita; quarè evaneſcentibus diſtantiis AB & CD, lineæ AB & CD, ultimò coincidunt cum tangentibus ſectionem in punctis A & C. *Vid. Lem.* VI. NEWT.

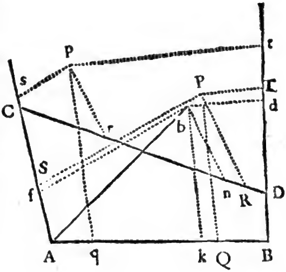


(d) 303. Puncta quatuor A, B, D, C, ſint in perimetro hyperbolæ vel in perimetris duarum hyperbolarum oppoſitarum, planum ſectionis quo hyperbola in cono generatur accedat ad coni verticem; hyperbolæ in triangula rectilinea mutantur quæ erunt loca punctorum P, & quorum latera vel coincidunt cum duobus trapezii lateribus vel ſunt ipſius diagonales, ac proinde punctum P, incidit in rectam quâ quævis ex punctis quatuor A, B, C, D, junguntur & *conica ſectio vertitur in geminas rectas quarum una eſt recta illa in quâ punctum P incidit & altera eſt recta quâ alia duo ex punctis quatuor junguntur.*

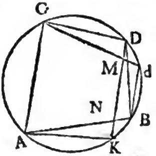
Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

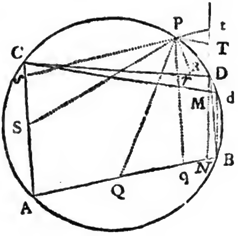
evadet circulus. (c) Idem fiet, ſi lineæ quatuor ducantur in angulis quibuſvis, & rectangulum ſub duabus ductis $PQ \times PR$ ſit ad rectangulum ſub aliis duabus $PS \times PT$ ut rectangulum ſub ſinubus angulorum S, T, in quibus duæ ultimæ PS, PT ducuntur, ad rectangulum ſub ſinubus angulorum Q, R, in quibus duæ primæ PQ, PR,



(c) 304. *Sectio Conica evadet circulus.* Si ex trapezii A B D C circulo inſcripti angulo quovis D, agatur recta D N, lateri A C parallela, & lateri A B occurrens in N, deindè ex altero angulo B, ducatur B d, lateri A C parallela circulo occurrens in d, jungaturque C d rectam D N, ſecans in N, erit D N × D M = A N × N B. Nam jungatur A K, & quoniam arcus C D, & A K, D d, & K B, inter eaſdem parallelas intercepti æquales ſunt, anguli D C d, & B A K, C D K & A K D, iis arcubus inſiſtentes & æqualium arcuum chordæ C D, A K, æquantur; quarè triangula A K N, C D M, ſimilia & æqualia ſunt; eſt igitur D M = N K; ſed ex naturâ circuli A N × N B = K N × D N, ergò A N × N B = D M × D N.



305. Si ergo ſectio conica trapezio circumſcripta vertatur in circulum, hoc eſt, ſi ſectionis planum baſi coni fiat parallelum, erit rectangulum P Q × P R ad rectangulum P S × P T, ut rectangulum ſub ſinubus angulorum S, T, ad rectangulum ſub ſinubus angulorum Q, R... *Dem*... factâ conſtructione Caſ. 3[i]. Lem. XVII. agantur rectæ D N, B d, lateri A C parallelæ, ut in articulo ſuperiori; & erit per demonſtrationem caſus 2[i]. Lem. XVII., N D × D M : A N × N B = P q × P r : P s × P t, hoc eſt (304) P q × P r = P s × P t. Jam verò angulorum ſinubus litterâ S deſignatis



PR, ducuntur. (f) Cæteris in caſibus locus puncti *P* erit aliqua trium figurarum, quæ vulgo nominantur ſectiones conicæ. (g) Vice autem trapezii *A B C D* ſubſtitui poteſt quadrilaterum, cujus latera duo oppoſita ſe mutuo inſtar diagonalium decuſſant. Sed & è punctis quatuor *A*, *B*, *C*, *D* poſſunt unum vel duo abire ad infinitum, eoque pacto latera figuræ, quæ ad puncta illa convergunt, evadere parallela: quo in caſu ſectio conica tranſibit per cætera puncta, & in plagas parallelarum abibit in infinitum.

L E M-

ſignatis erit S. Pq A = S. CAB, & S. Pr C = S. A C D, ob parallelas Pq, A C, & S. PsS = S. PsC = S. C A B, & S. PtT = S. A B D, ob parallelas st, A B, & ob angulum A C D complementum anguli A B D ad duos rectos, S. P t T = S. A C D.

Porrò

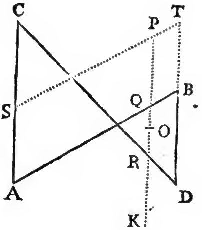
PQ : Pq = S. Pq A (S. C A B) : S. PQB
Ps : PS = S. PSC : S. PsS (S. C A B).
PR : Pr = S. Pr C (S. A C D) : S. PRC.
Pt : PT = S. P T t : S. Pt T. (S. A C D).

Ergò per compoſitionem rationum
PQ × PR × Ps × Pt : PS × PT × Pq × Pr
= PQ × PR : PS × PT
= S. PSC × S. PTt : S. PQB × S. PRC.
Q. e. D.

306. *Coroll*... Eâdem manente proportione, ſi omnes anguli ad S, T, Q, R, fuerint æquales rectangulum PQ × PR, erit quoque æquale rectangulo PS × PT.

(f) * Nam vel punctum P, locabitur in ſectione rectilineâ per verticem coni tranſeunte, vel in circulo, vel tandem in aliquâ trium ſectionum conicarum, nullæ enim aliæ ſunt ſectiones conicæ, ut notum eſt.

(g) 307. *Vice autem trapezii ſubſtitui poteſt quadrilaterum A B D C, cujus latera duo A B, C D, ſe mutuò inſtar diagonalium decuſſant*; huic enim quadrilatero abſque mutatione aptari poſſunt tam conſtructiones quam demonſtrationes Lemmatum XVII. & XVIII. Exemplum ſit

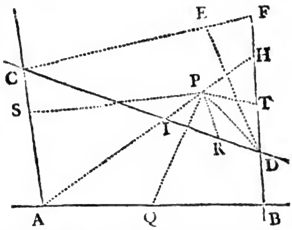


Caſ. 1. *Lem.* X V I I. Ponamus lineas ex puncto P, ad oppoſita latera ductas parallelas eſſe alterutri reliquorum laterum, putà PQ & PR, lateri A C & PS, ac PT, lateri A B; ſintque inſuper latera duo ex oppoſitis putà A C & B D, ſibi invicem parallela & recta quæ biſecat &c. cæteræ omnes demonſtrationis partes eodem modo transferuntur ad quadrilaterum C A B D.

Digitized by Google

LEMMA XIX.

Invenire punctum P, *à quo ſi rectæ quatuor* PQ, PR, PS, PT *ad alias totidem poſitione datas rectas* AB, CD, AC, BD, *ſingulæ ad ſingulas, in datis angulis ducantur, rectangulum ſub duabus ductis*, PQ×PR, *ſit ad rectangulum ſub aliis duabus*, PS×PT, *in datâ ratione.*



Lineæ *AB*, *CD*, ad quas rectæ duæ *PQ*, *PR* unum rectangulorum continentes ducuntur, conveniant cum aliis duabus poſitione datis lineis in punctis *A*, *B*, *C*, *D*. Ab eorum aliquo *A* age rectam quamlibet *AH*, in quâ velis punctum *P* reperiri. Secet ea lineas oppoſitas *BD*, *CD*, nimirum *BD* in *G* & *CD* in *I*, & ob datos omnes angulos figuræ, dabuntur rationes *PQ* ad *PA* & *PA* ad *PS*, ideoque ratio *PQ* ad *PS*. Auferendo hanc à datâ ratione *PQ*×*PR* ad *PS*×*PT*, dabitur ratio *PR* ad *PT*, & addendo datas rationes *PI* ad *PR*, & *PT* ad *PH* dabitur ratio *PI* ad *PH*, atque ideo punctum *P*. *Q. E. I.*

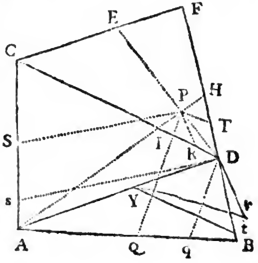
Corol. 1. Hinc (h) etiam ad loci punctorum infinitorum *P*

(h) 308. Minima ſit punctorum P, D, diſtantia P D, agantur D s, D q, ad A C, A B, in angulis datis P S C, P Q A, & junctâ A D, ex illius quovis puncto Y, ducantur Y r, lateri C D, parallela, & Y t, ad D B, in angulo dato P T H; tum ex puncto D, ad Y r, ducatur D r, in angulo dato P R I; punctis P, D, coeuntibus erit P Q : P A = D q : D A, & P A : P S = D A : D s, adeóque P Q : P S = D q : D s, & proindè P Q × P R : P S × P T = D q × P R : D s × P T. Ratio data rectanguli P Q × P R ad P S × P T ſit A ad B, & erit D q × P R : D s × P T = A : B, adeóque

P R : P T = A × D s : B × D q

& evaneſcente P D, ob ſimilia triangula P I R, D Y r, erit

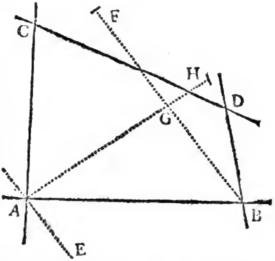
P I : P R = D Y : D r.



Digitized by Google

punctum quodvis D tangens duci poteſt. Nam chorda PD, ubi puncta P ac D conveniunt, hoc eſt, ubi AH ducitur per punctum D, tangens evadit. Quo in caſu, ultima ratio evaneſcentium IP & PH invenietur ut ſupra. Ipſi igitur AD duc parallelam CF, occurrentem BD in F, & in eâ ultimâ ratione ſectam in E, & DE tangens erit, propterea quod CF & evaneſcens IH parallelæ ſunt, & in E & P ſimiliter ſectæ.

Corol. 2. Hinc etiam locus punctorum omnium P definiri poteſt. Per quodvis punctorum A, B, C, D, puta A, duc loci tangentem AE, & per aliud quodvis punctum B duc tangenti parallelam BF occurrentem loco in F. Invenietur autem punctum F per *lem.* XIX. Biſeca BF in G, & actâ indefinita AG erit poſitio diametri ad quam BG & FG ordinatim applicantur. Hæc AG occurrat loco in H, (i) & erit AH diameter ſive latus tranſverſum, ad quod latus rectum erit ut BGq ad $AG \times GH$. Si (k) AG nuſquam occurrit loco, lineâ AH exiſtente infinitâ, locus erit parabola, & latus rectum ejus ad diametrum AG pertinens erit $\frac{BGq}{AG}$. Sin ea alicubi occurrit, locus hyperbola erit, ubi puncta A & H ſita ſunt ad eaſdem partes ipſius G: & ellipſis, ubi G intermedium eſt, niſi forte angulus AGB rectus ſit, & inſuper BG *quad.* æquale rectangulo AGH, quo in caſu circulus habebitur.



& ob ſimilia triangula PTH, YtD, erit
$$PT : PH = Yt : DY$$
ergò per compoſitionem rationum
$$PT : PH = A \times Ds \times Yt : B \times [illegible]q \times Dr = CE : EF$$
, ob parallelas IH : CF, ducta DE, erit tangens in D.

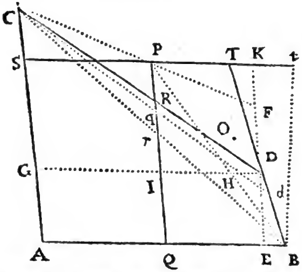
(i) * Et erit AH, diameter (per prop. 7^{am} lib. 2. Conic. *Apoll.* Lemma IV. de Conic. 224.) ſive latus tranſverſum ad quod latus rectum erit ut BG^2 ad $AG \times GH$ (per prop. 21. lib. 1. Conic. *Apoll.* Theor. II. de Hyp. & de Ellip. & Theor. I. de Parab. n. 224.)

(k) 309. Locus omnium punctorum P, eſt aliqua ex quinque coni ſectionibus, per Lem. XVIII. & ipſius ſcholium. Si locus fue-

Atque ita problematis veterum de quatuor lineis ab *Euclide* incœpti & ab *Appollonio* continuati non calculus, ſed compoſitio geometrica, qualem veteres quærebant, in hoc corollario exhibetur. (l)

LEMMA XX.

Si parallelogrammum quodvis ASPQ *angulis duobus oppoſitis* A *&* P *tangit ſectionem quamvis conicam in punctis* A *&* P; *& lateribus unius angulorum illorum infinitè productis* AQ, AS *occurrit eidem ſectioni conicæ in* B *&* C; *à punctis autem occurſuum* B *&* C *ad quintum quodvis ſectionis conicæ punctum* D *agantur rectæ duæ* BD, CD *occurrentes alteris duobus infinitè productis parallelogrammi lateribus* PS, PQ *in* T *&* R: *erunt ſemper abſciſſæ laterum partes* PR *&* PT *ad invicem in datâ ratione. Et contra, ſi partes illæ abſciſſæ ſunt ad invicem in datâ ratione, punctum* D *tanget ſectionem conicam per puncta quatuor* A, B, C, P *tranſeuntem.*



Caſ. 1. Jungantur *BP*, *CP* & à puncto *D* agantur rectæ duæ *DG*, *DE*, quarum prior *DG* ipſi *AB* parallela ſit & occurrat *PB*, *PQ*, *CA* in *H*, *I*, *G*; altera *DE* parallela ſit ipſi *AC* & occurrat *PC*, *PS*, *AB* in *F*, *K*, *E*: & erit (*per lem.* XVII.) rectangulum $DE \times DF$ ad rectangulum $DG \times DH$

fuerit linea recta ac proinde tangens ipſa AE, (303) recta BF, tangenti parallela nullibi occurret loco; ſi verò locus fuerit alia coni ſectio, recta BF, huic ſectioni occurret in puncto aliquo F, tumque diameter AG, vel utrinque terminabitur ad hyperbolas oppoſitas, quo caſu, puncta A & H, ſita erunt ad eaſdem partes ipſius G, vel claudetur Ellipſi aut circulo, & punctum G, inter A & H poſitum erit, vel tandem nullibi occurret loco qui proindè erit parabola. Porrò datis ſectionis conicæ vertice, diametro, hujus latere recto ac ordinatarum angulo ſectio deſcribi poteſt (per prop. 52. 53. 54. 55. lib. 1. Conic. *Apoll.* ſive ex iis quæ in notâ 224. de Conicis tradita fuere).

(l) * Hoc veterum problema primus in ſuâ Geometriâ *Carteſius* per calculum analyticum generaliter reſolvit.

in ratione datâ. Sed eſt PQ ad DE (ſeu IQ) ut PB ad HB. ideoque ut PT ad DH; & viciſſim PQ ad PT ut DE ad DH. Eſt & PR ad DF ut RC ad DC, ideoque ut (IG vel) PS ad DG, & viciſſim PR ad PS ut DF ad DG; & conjunctis rationibus fit rectangulum $PQ \times PR$ ad rectangulum $PS \times PT$ ut rectangulum $DE \times DF$ ad rectangulum $DG \times DH$, atque ideo in datâ ratione. Sed dantur PQ & PS, & propterea ratio PR ad PT datur. *Q. E. D.*

Caſ. 2. Quod ſi PR & PT ponantur in datâ ratione ad invicem, (m) tum ſimili ratiocinio regrediendo, ſequetur eſſe rectangulum $DE \times DF$ ad rectangulum $DG \times DH$ in ratione datâ, ideoque punctum D (*per lem.* XVIII.) contingere conicam ſectionem tranſeuntem per puncta A, B, C, P. *Q. E. D.*

Corol. 1. Hinc ſi agatur BC ſecans PQ in r, & in PT capiatur Pt in ratione ad Pr quam habet PT ad PR: erit Bt tangens conicæ ſectionis ad punctum B. Nam concipe punctum D coire cum puncto B, ita ut chordâ BD evaneſcente, BT tangens evadat; & CD ac BT coincident cum CB & Bt.

Corol. 2. Et vice verſâ ſi Bt ſit tangens, & ad quodvis conicæ ſectionis punctum D conveniant BD, CD; erit PR ad PT ut Pr ad Pt. Et contra, ſi ſit PR ad PT ut Pr ad Pt: convenient, BD, CD ad conicæ ſectionis punctum aliquod D.

Corol. 3. Conica ſectio non ſecat conicam ſectionem in punctis pluribus quam quatuor. Nam, ſi fieri poteſt, tranſeant duæ conicæ ſectiones per quinque puncta A, B, C, P, O; eaſque ſecet recta BD in punctis D, d, & ipſam PQ ſecet recta Cd in q. Ergo PR eſt ad PT ut Pq ad PT; (n) unde PR & Pq ſibi invicem æquantur, contra hypotheſin. LEM-

(m) * *Nam ſi* PR *&* PT ponantur *in ratione datâ*, erit quoque ob datas PQ, PS, rectangulum PQ×PR, ad rectangulum PS×PT, in ratione datâ; ſed per demonſtrata in 1°. caſu PQ×PR:PS×PT = DE×DF:DH×DG; ergò DE×DF ad DH×DG in ratione datâ.

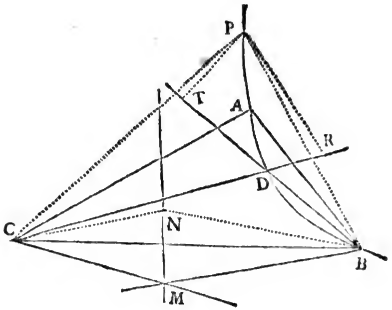
(n) * Cùm enim duæ ſectiones conicæ ſe mutuò interſecent in punctis O & B, (*per hyp.*) duci poterit recta BD, quæ duas ſectionum arcus in B & O convenientes ſecet in punctis duobus, eritque *per coroll.* 1. *Lem.* XX. PR : PT = Pr : Pt = Pq : PT, adeóque PR : PT = Pq : PT, unde PR & Pq ſibi invicem æquantur, ac proinde Cd, coincidit cum CD, & punctum d, cum puncto D, (contra hyp.).

Digitized by Google

LEMMA XXI.

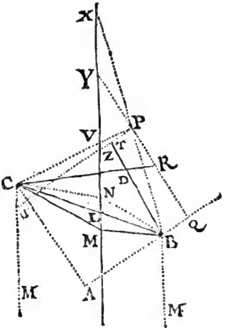
Si rectæ duæ mobiles & infinitæ BM, CM *per data puncta* B, C *ceu polos ductæ, concurſu ſuo* M *deſcribant tertiam poſitione datam rectam* MN; *& aliæ duæ infinitæ rectæ* BD, CD, *cum prioribus duabus ad puncta illa data* B, C *datos angulos* MBD, MCD *efficientes ducantur: dico quod hæ duæ* BD, CD *concurſu ſuo* D *deſcribent ſectionem conicam per puncta* B, C *tranſeuntem. Et vice verſâ, ſi rectæ* BD, CD *concurſu ſuo* D *deſcribant ſectionem conicam per data puncta* B, C, A *tranſeuntem, & ſit angulus* DBM *ſemper æqualis angulo dato* ABC, *anguluſque* DCM *ſemper æqualis angulo dato* ACB: *punctum* M *continget rectam poſitione datam.*

Nam in rectâ *MN* detur punctum *N*, & ubi punctum mobile *M* incidit in immotum *N*; incidat punctum mobile *D* in im-



motum *P*. Junge *CN*, *BN*, *CP*, *BP*, & a puncto *P* age rectas *PT*, *PR* occurrentes ipſis *BD*, *CD* in *T* & *R*, & facientes an-

angulum BPT æqualem angulo dato BNM, & angulum CPR æqualem angulo dato CNM. Cum ergo (ex hypotheſi) æquales ſint anguli MBD, NBP, ut & anguli MCD, NCP; aufer communes NBD & NCD, & reſtabunt æquales NBM & PBT, NCN & PCR: ideoque triangula NBM, PBT ſimilia ſunt, ut & triangula NCM, PCR. Quare PT eſt ad NM ut PB ad NB, & PR ad NM ut PC ad NC. Sunt autem puncta B, C, N, P immobilia. Ergo PT & PR datam habent rationem ad NM, proindeque datam rationem inter ſe; atque ideo (*per lem.* XX. (o)) punctum D, perpetuus rectarum mobilium BT & CR concurſus, contingit ſectionem conicam, per puncta B, C, P tranſeuntem. *Q. E. D.* Et

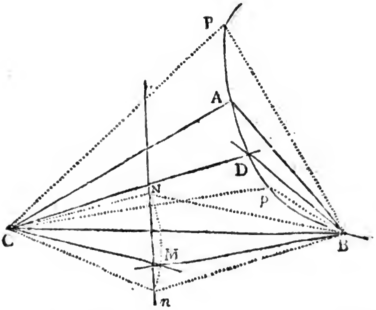


(o) *Atque ideo per Lemma XX.* &c. ut pateat Lemma XX. ad hanc demonſtrationem applicari, hæc ſunt ſupplenda conſtructioni *Newtonianæ*.

Concurrant lineæ BM, CM in puncto lineæ NM infinite diſtanti, hoc eſt, ſint illi lineæ NM Parallelæ, & ducantur lineæ BA, CA facientes cum illis lineis BM, CM angulos MBA, MCA datis MBC, MCD æquales. Dico lineas BA, CA fore parallelas lineis PT, PR ſecundum conſtructionem *Newtonianam* deſcriptis: Productis enim BP & PT (ſi neceſſe ſit) donec ſecent rectam datam MN in X & Z, erit angulus BPZ exterior reſpectu Trianguli PZX, ideoque æqualis angulis X & PZX, & angulus BNM erit exterior reſpectu Trianguli BNX ideoque æqualis angulis X & XBN, anguli vero BPZ & BNM æquales ſunt per conſtructionem *Newton.* ergo anguli X & PZX æquales ſunt angulis X & XBN, unde angulus PZX, quem facit linea PT cum recta NM eſt æqualis angulo XBN ſive angulo dato MBD quem facit linea BA cum linea BM ipſi NM parallela, ergo per naturam Parallelarum, eſt linea PT parallela lineæ BA.

Eodem planè modo demonſtrabitur lineam CA eſſe Parallelam lineæ PR. Quibus poſitis, ſit ſectio Conica per puncta B, C, P & A tranſiens, lineæ BD, CD juxta conditiones in Lemmate præſcriptas ductæ, concurſu ſuo D percurrent eam ſectionem Conicam: Productis enim lineis PT PR, donec ſecent lineas CA, BA, in S & Q fiet *Parallelogrammum ASPQ, quod in Angulis ſuis oppoſitis A & P tangit ſectionem conicam & lateribus anguli A productis occurrit eidem ſectioni in B & C, & lineæ B D, C D a punctis occurſuum B & C ductæ* (ſecundum conditiones Lemmatis hujuſce XXI.) *abſcindunt a Parallelogrammi lateribus PS, PQ partes PT, PR quæ ſunt ad invicem in data ratione* (per demonſtrationem *Newtonianam* hujuſce) *ergo* (per 2. caſum Lem. XX.) *punctum D tangit ſectionem Conicam per puncta quatuor A, B, C, P tranſeuntem.*

Et contra, ſi punctum mobile D contingat ſectionem conicam tranſeuntem per data puncta B, C, A, & ſit angulus DBM ſemper æqualis angulo dato ABC, & angulus DCM ſemper æqualis angulo dato ACB, & ubi punctum D incidit ſucceſſivè in duo quævis ſectionis puncta immobilia p, P, punctum mobile M incidat ſucceſſivè in puncta duo immobilia n, N: per



eadem n, N, agatur recta nN, & hæc erit locus perpetuus puncti illius mobilis M. Nam, ſi fieri poteſt, verſetur punctum M in lineâ aliquâ curvâ. Tanget ergo punctum D ſectionem conicam per puncta quinque B, C, A, p, P tranſeuntem, ubi punctum M perpetuò tangit lineam curvam. Sed & ex jam demonſtratis tanget etiam punctum D ſectionem conicam per eadem quinque puncta B, C, A, p, P, tranſeuntem, (p) ubi punctum

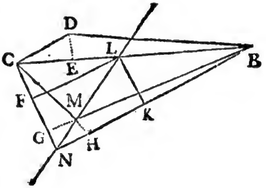
(p) * *Ubi punctum M, perpetuò tangit lineam rectam* n N &c. cum enim angulorum datorum A B C, A C B, latera duo coincidunt cum rectâ C B, punctum A, aliorum laterum B A, C A, interſectio, locatur in ſectione conicâ per polos C, B, tranſeunte; dum verò latera duo B n, & C n, B N, & C N, ſeſe interſecant in n, N, aliorum laterum B p, & C p, B P, & C P interſectiones, p, P, ſunt in eâdem ſectione conicâ ex demonſtratis.

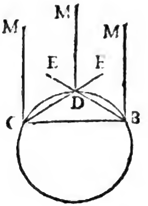
tum M perpetuò tangit lineam rectam. Ergo duæ ſectiones conicæ tranſibunt per eadem quinque puncta, contra *corol.* 3. *lemmat.* XX. Igitur punctum M verſari in lineâ curvâ abſurdum eſt. *Q. E. D.* (q)

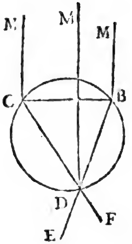
(q) 310. In hâc organicâ ſectionum conicarum deſcriptione, angulorum circà polos mobilium crura utrinque producantur, ut cum duo crura v. gr. C P, B P ſuprà lineam C B divergunt, infrà eandem producta convergant.

Si recta N M, per polorum alterutrum C, vel B, tranſeat, aut ſi anguli E C D, C B D, ſimul evaneſcant, punctum D deſcribet lineam rectam. Nam in 1°. caſu angulorum datorum unus immobilis manet, dum alter circà polum ſuum rotatur & crurum ſuorum cum immobilis anguli cruribus interſectione lineam rectam deſcribit; Si enim recta N M cum anguli dati D C M crure altero C M coincidat, immobili manente angulo D C M, alterius D B M crura rectas M C, C D perpetuò interſecabunt; deindè ſi crure B M, coincidente cum C B, ut rectam C M poſitione datam perpetuò ſecet in C, immobilis maneat angulus D B M, alterius D C M circà polum C rotati crus C D rectam B D perpetuò interſecabit.

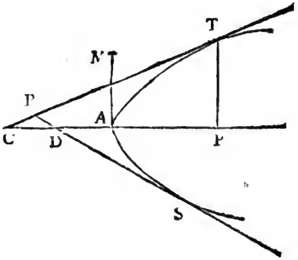
In 2°. caſu anguli B C N, C B N circà polos C, B mobiles, crurum duorum C N, B N concurſu, rectam N M L poſitione datam & aliorum crurum C B, B C ſeu C D, B D concurſu D lineam quamlibet percurrant, ſintque N punctum fixum M & D puncta mobilia; ductis ex puncto L dato ad latera data C N, B N perpendicularibus L F, L K ex puncto mobili M ad eaſdem perpendicularibus M G, M H & ex puncto D ad rectam C B, perpendiculari D E; ſit $CE = x$, $DE = y$, $CB = a$, ac proindè $EB = a - x$ $MN = z$, $LN = b$, $LF = c$, $FN = d$ $CN = e$, $LK = f$, $NK = h$, $NB = g$; & ob triangula N M G, N F L ſimilia, $NL\,(b) : LF\,(c) = MN\,(z) : GM = \frac{cz}{b}$, & $LN\,(b) : FN\,(d) = MN\,(z) : GN = \frac{dz}{b}$, adeòque $CG = CN - GN = \frac{be - dz}{b}$; porrò ob angulos æquales D C E, M C G, & D E C, M G C, triangula D C E, M C G ſimilia ſunt; quarè $CG\,(\frac{be - dz}{b}) : GM\,(\frac{cz}{b}) = CE\,(x) : DE\,(y)$. Undè $czx = bey - dzy$, & $z = \frac{bey}{cx + dy}$; ob triangula N L K, N M H, ſimilia $NL\,(b) : LK\,(f) = NM\,(z) : MH = \frac{fz}{b}$, & $NL\,(b) : NK\,(h) = MN\,(z) : NH = \frac{hz}{b}$. undè $BH = \frac{gb - hz}{b}$; ob ſimilia triangula BED, BHM, $BH\,(\frac{gb - hz}{b}) : MH\,(\frac{fz}{b}) = BE\,(a - x) : DE\,(y)$ quarè $faz - fzx = gby - hzy$, & $z = \frac{gby}{fa + hy - fx} = \frac{bey}{cx + dy}$, adeòque $gcx + gdy = fae + hey - fex$. Cùm igitur æquatio ſit unius dimenſionis, locus punctorum D, eſt linea recta.





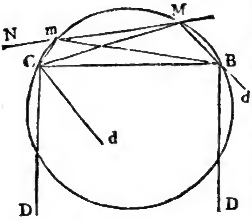


311. Si angulorum mobilium M C D, M B D crura C M, B M ſibi invicem parallela maneant, ſeu, ſi recta N M ad diſtantiam infinitam abeat, crura alia C D, B D concurſu ſuo D circulum deſcribent, & contrà. Concurrant enim C M, D M, B M ad diſtantiam infinitam, & angulus M C D æqualis erit angulo M D F, ac M B D æqualis M D E; quoniam igitur dati ſunt anguli M C D, M B D dabuntur quoque anguli M D F, M D E ac etiam angulus E D F & ei æqualis C D B. quarè cum curva concurſu D deſcripta, neceſſariò tranſeat per puncta data C, & B, patet punctum D ſeu verticem anguli dati C D B chordæ C B inſiſtentis eſſe in circuli peripheriâ. Et contrà, ſi concurſus D, tangat circulum per puncta C, & B tranſeuntem, dabuntur tres anguli C D B, M C D, M B D atque adeò in quadrilatero M C D B M, cujus duo latera C M, B M concurrunt in M, dabitur angulus C M B, quod fieri nequit, niſi recta N M ad diſtantiam infinitam abeat, hoc eſt, niſi parallela fiant crura C M, B M.



312. Lemma II. Si duæ rectæ parabolam tangant, & puncta contactuum in infinitum abeant, binæ tangentes ſe mutuò interſecant ad angulum infiniteſimum & evadunt parallelæ axi parabolæ. Sit enim parabolæ axis C P, vertex A, C T tangens in T & axem ſecans in C, T P ad axem ordinata, A M latus rectum axis, erit C P = 2 A P, & A P : P T = P T : A M, adeóque 2 A P (C P) : P T = 2 P T : A M. Si punctum contactûs T, in infinitum abeat, erit 2 P T, infinita reſpectu A M, & proindè C P, infinita reſpectu P T, hoc eſt, ſinus totus C P infinitus evadit reſpectu tangentis P T anguli T C P, quarè angulus ille infiniteſimus eſt, & tangens axi C P parallela, altera tangens B S, axem ſecet in D, & tangentem C T in B, & punctum contactûs S in infinitum abeat; erit angulus S D P infiniteſimus & angulus T B D duobus internis atque infiniteſimis B C D, B D C æqualis, erit quoque infiniteſimus.

313.

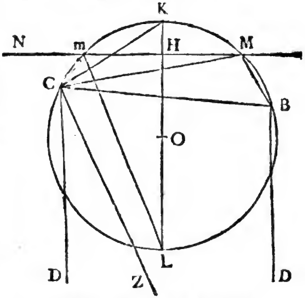


313. Super datâ rectâ C B, deſcribatur ſegmentum circuli B M m C, quod capiat angulum B M C, datorum M C D, M B D ſupplementum ad quatuor rectos & compleatur circulus. Si recta data NM, quam in deſcriptione ſectionis conicæ percurrit crurum B M C M concurſus M hunc circulum ſecet, deſcribetur hyperbola; ſi recta N M circulum contingat, deſcribetur parabola; ſi recta N M circulo nullibi occurrat, deſcribetur ellipſis.

Caſ. 1. Recta N M circulum ſecet in punctis m, M, & crura C d, B d, & C D, B D, ſibi invicem parallela erunt ſive concurrent ad diſtantiam infinitam; nam cum in quadrilatero D C M B D d C m B d angulus M vel m ſit complementum angulorum C & B ad quatuor Rectos, angulus ad D vel d, evaneſcit, ideoque lineæ C D, B D erunt parallelæ. Cùm verò in omni Sectione Conicâ inveniri poſſit Tangens parallela chordæ cuivis datæ (*per Lemma* IV. *de Conicis pag.* 129.) ductæ intelligantur Tangentes Sectionis chordis C D C d Parallelæ, illæ Tangentes facient inter ſe angulum æqualem angulo D c d quem faciunt inter ſe illæ chordæ, & puncta contactuum erunt ad diſtantiam infinitam, nulla verò eſt ſectio conica præter hyperbolam cujus ad infinitam diſtantiam tangentes angulum finitum communi interſectioni faciant; in Ellipſi enim nulla eſt tangens ad diſtantiam infinitam, & in parabolâ hujuſmodi tangentes angulum infiniteſimum duntaxat, facerent (*per Lemma* ſuperius 313). Si igitur recta M N circulum ſecet, deſcribetur hyperbola cujus aſymptoti ſeu tangentes ad diſtantiam infinitam rectis C D, C d parallelæ ſunt & ſe mutuò interſecant in centro trajectoriæ. *Q. e.* 1.

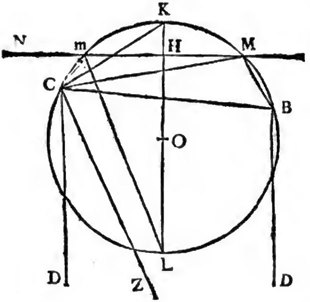
Caſ. 2. Quoniam angulus m C M, in 1°. caſu æqualis eſt aſymptotorum angulo DCd, ob æquales D C M, d C m; ſi manentibus circulo & diſtantiâ polorum C B, puncta interſectionum m, M ad ſe mutuò accedant, decreſcet angulus D C d, & tandem punctis m, M coeuntibus, hoc eſt, ſecante M N in tangentem mutatâ angulus ille evaneſcet, dum rectæ C D, B D manent parallelæ, & ad diſtantiam infinitam cum trajectoriâ conveniunt. In hoc igitur caſu duæ rectæ, ipſis C D, C d parallelæ & trajectoriam ad diſtantiam infinitam tangentes, ſe mutuò interſecant in angulo infiniteſimo, ſeu in unicam lineam coeunt axi trajectoriæ parallelam, & proindè hyperbola caſus primi mutatur in parabolam (312). *Q. e.* 2.

Caſ. 3. Si recta N M nullibi circulo occurrat, rectæ B D, C D quarum concurſu D ſectio conica deſcribitur nunquam poſſunt fieri parallelæ, & proindè curva non abit in infinitum, ſed in ſe redit, eſtque adeò Ellipſis. *Q. e.* 3.



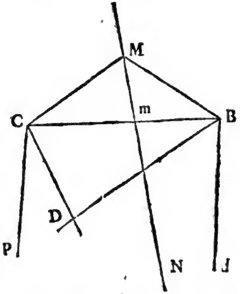
314. *Coroll.* 1. Ex his axes trajectoriæ facilè determinantur. Sit O centrum circuli C m M B ut ſuprà (313) deſcripti, ab hoc centro in rectam N M cadat perpendicularis O H circulo occurrens in

punctis K & L, & rectæ N M in H, jungatur C K, & fiat angulus K C Z æqualis angulo mobili M C D, aut quod idem eſt, anguli M C D crus C M ducatur ad poſitionem C K, & alterum crus C Z erit parallelum axi majori, & perpendiculare axi minori trajectoriæ, modò punctum K ſit rectæ M N propius quam punctum op-



poſitum L; nam arcus K m, K M ſunt æquales & angulus K C m = K C M = ½ m C M = D C Z; cumque m C M æqualis ſit angulo quo aſymptoti ſe mutuò interſecant, erit D C Z dimidium illius anguli, adeóque C Z parallela axi qui aſymptotorum angulum biſecat; & ſi punctum K regulæ propius ſit quam punctum oppoſitum L, erit angulus m C M acutus, ac proindè axis major qui angulum aſymptotorum acutum biſecat, erit rectæ C Z parallelus, axis verò minor huic rectæ perpendicularis; undè ſi detur trajectoriæ centrum dabuntur axes, & ſi deſcripta ſit trajectoria, invenitur axis poſitio, ductâ ad C Z normali ad trajectoriam utrinque terminatâ quam axis perpendiculariter & bifariam dividit; inventâ autem axium poſitione, habetur centrum in eorum interſectione communi. Superior autem conſtructio non ſolum hyperbolæ convenit, ſed & parabolæ in quam hyperbola mutatur, dum puncta m, M coeunt, atque etiam Ellipſi in quam vertitur parabola, dum recta M N, extrà circulum tranſit.

315. *Coroll.* 2. Axium trajectoriæ quadrata ſunt ad invicem ut K H, ad L H; nam axes ſunt inter ſe ut coſinus dimidii anguli aſymptotorum ad ſinum dimidii ejuſdem anguli; eſt verò K C m qui æqualis eſt dimidio anguli aſymptotorum, etiam æqualis angulo m L K, adeóque L H eſt ad H m ut axis ad axem; ſed L H : H m = H m : K H, ac proindè $LH : KH = LH^2 : Hm^2$. Ergò quadrata axium ſunt ad invicem ut L H ad K H.



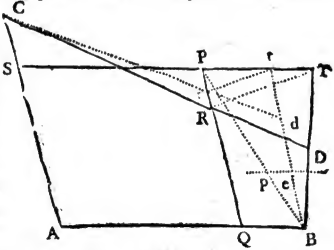
316. *Corol.* 3. Si angulorum mobilium ſumma duobus rectis æqualis fuerit, rectæ B D, C D fiant parallelæ, quandò punctum M pervenit ad m, ubi recta N M occurrit rectæ C B productæ, ſi opus eſt, & quandò M abit in infinitum, cum in utroque caſu evaneſcat angulus B M C. Si itaque linea M N, in hâc hypotheſi alicubi occurrat rectæ B C productæ, duæ rectæ trajectoriam in diſtantiâ infinitâ contingent, & ſe mutuò ad angulum datum interſecabunt, adeóque deſcribetur hyperbola; at ſi M N rectæ C B non occurrat, ſed ipſi parallela ſit, rectæ C D, B D non evadent parallelæ, niſi quando punctum M abit in infinitum, ac proindè trajectoria erit parabola. Quoniam igitur recta M N rectæ C B productæ occurrit,

Digitized by Google

PROPOSITIO XXII. PROBLEMA XIV.

Trajectoriam per data quinque puncta deſcribere.

Dentur puncta quinque *A*, *B*, *C*, *P*, *D*. Ab eorum aliquo *A* ad alia duo quævis *B*, *C*, quæ poli nominentur, age rectas *AB*, *AC*, hiſque parallelas *TPS*, *QRP* per punctum quartum *P*. Deinde à polis duobus *B*, *C* age per punctum quintum *D*, infinitas duas *BDT*, *CRD*, noviſſimè ductis *TPS*, *PRQ* (priorem priori & poſteriorem poſteriori) occurrentes in *T* & *R*. Denique de rectis *PT*, *PR*, actâ rectâ *tr* ipſi *TR* parallelâ, abſcinde quaſvis *Pt*, *Pr* ipſis *PT*, *PR* proportionales; & ſi per earum terminos *t*, *r* & polos *B*, *C* actæ *Bt*, *Cr* concurrant in *d*, locabitur punctum illud *d* in trajectoriâ quæſitâ. Nam punctum illud *d* (*per lem.* XX.) verſatur in conicâ ſectione per puncta quatuor *A*, *B*, *C*, *P* tranſeunte; & lineis *Rr*, *Tt* evaneſcentibus, coit punctum *d* cum puncto *D*. Tranſibit ergo ſectio conica per puncta quinque *A*, *B*, *C*, *P*, *D*. *Q. E. D.*



Idem

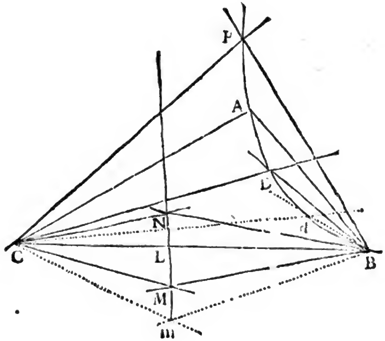
occurrit, vel ipſi parallela eſt, patet nunquam poſſe Ellipſim deſcribi, ſi angulorum mobilium ſumma, duobus rectis æqualis fuerit.

Scholium. Si crura C M, B M concurſu ſuo M percurrant ſectionem conicam per polum alterum C tranſeuntem, crura duo reliqua C D, B D concurſu ſuo D deſcribunt curvam ſecundi generis per polum alterum B tranſeuntem, præterquam ubi anguli B C D, C B D ſimul evaneſcunt; quo caſu punctum D deſcribet ſectionem conicam per polum C tranſeuntem, & eâdem methodo curvas varias tertii, quarti, ſuperiorum generum deſcribere licet. Sed hæc ad præſens inſtitutum non pertinent; qui plura deſideraverit, legat Geometriam Organicam Celeberrimi Matheſeos Profeſſoris *Colini Mac-Laurin*, ex quo eximio opere non pauca excerpſimus.

Digitized by Google

Idem aliter.

E punctis datis junge tria quævis *A*, *B*, *C*; & circum duo eorum *B*, *C*, ceu polos, rotando angulos magnitudine datos *ABC*, *ACB*, applicentur crura *BA*, *CA* primò ad punctum *D*, deinde ad punctum *P*, & notentur puncta *M*, *N* in qui-



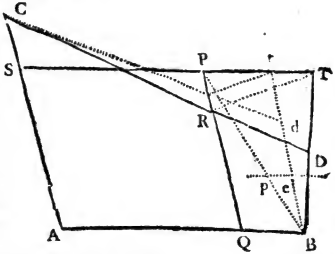
bus altera crura *BL*, *CL* caſu utroque ſe decuſſant. Agatur recta infinita *MN*, & rotentur anguli illi mobiles circum polos ſuos *B*, *C*, eâ lege ut crurum *BL*, *CL* vel *BM*, *CM* interſectio, quæ jam ſit *m*, incidat ſemper in rectam illam infinitam *MN*; & crurum *BA*, *CA*, vel *BD*, *CD*, interſectio, quæ jam ſit *d*, trajectoriam quæſitam *PADdB* delineabit. Nam punctum *d* (*per lem.* XXI.) continget ſectionem conicam per puncta *B*, *C* tranſeuntem; & ubi punctum *m* accedit ad puncta *L*, *M*, *N*, punctum *d* (per conſtructionem) accedet ad puncta *ADP*. Deſcribetur itaque ſectio conica tranſiens per puncta quinque *A*, *B*, *C*, *P*, *D*. *Q. E. F.*

Corol.

Corol. 1. (r) Hinc recta expeditè duci poteſt, quæ trajectoriam quæſitam in puncto quovis dato *B* continget. Accedat punctum *d* ad punctum *B*, & recta *B d* evadet tangens quæſita.

Corol. 2. (ſ) Unde etiam trajectoriarum centra, diametri & latera recta inveniri poſſunt, ut in corollario ſecundo lemmatis XIX.

Scholium.



Conſtructio prior evadet paulo ſimplicior jungendo *B P*, & in eâ, ſi opus eſt, productâ capiendo *B p* ad *B P* ut eſt *P R* ad *P T*; & per *p* agendo rectam infinitam *p e* ipſi *S P T* parallelam, & in eâ (t) capiendo ſemper *p e* æqualem *P r*; & agendo rectas *B e*, *C r* concurrentes in *d*. Nam cum ſint *P r* ad *P t*, *P R* ad *P T*, *p B* ad *P B*, *p e* ad *P t* in eâdem ratione; erunt *p e* & *P r* ſemper æquales. Hâc methodo puncta trajectoriæ inveniuntur expeditiſſimè, niſi mavis curvam, ut in conſtructione ſecundâ, deſcribere mechanicè. PRO-

(r) 317. Tangens in B, coincidit cum crure B d anguli mobilis d B m, dum alterius anguli d C m, crus C d, coincidit cum rectâ C B. Nam in hoc caſu, chorda B d evaneſcit & poſitione congruit cum tangente; unde tangens per punctum quodvis datum expeditè duci poteſt etiam nondùm deſcriptâ ſectione conicâ, ſi punctum illud datum pro polo uſurpetur.

(ſ) 318. Per quodvis punctorum datorum puta h, duc trajectoriæ tangentem, & per aliud quodvis punctum datum C, duc tangenti parallelam occurrentem trajectoriæ jam deſcriptæ in puncto aliquo; aut ſi deſcripta non fuerit trajectoria circà polos, rotentur anguli mobiles, donec crurum C D, B D concurſus D, reperiatur in rectâ tangenti parallelâ; vel tandem punctum illud in quo recta tangenti parallela trajectoriæ occurrit, geometricè quæratur per lem. XIX. Nam (*vid. fig. & demonſtr. Lem.* XX.) cùm data ſint quinque puncta C, A, B, D, P, dabitur ratio conſtans rectangulorum P Q × P R, P S × P T, hoc eſt, rectangulorum D E × D F, D G × D H, adeóque (*per Lem.* XIX.) invenietur punctum concurſus trajectoriæ cum lineâ per punctum datum C ductâ. Cætera fiant ut in coroll. 2°. Lem. XIX. poſſunt etiam trajectoriarum axes & centra inveniri eo modo quo docuimus num. 314.

(t) * Hoc eſt linearum p e, P r, alterutra ad arbitrium capiatur, & altera aſſumptæ æqualis fiat, aganturque rectæ B e, C r, concurrentes in d, nam (per priorem conſtr.) P r : P t = P R : P T = p B : P B, (*per hanc conſtr.*); & junctâ B t, ob parallelas p e, P t, erit p B : P B = p e : P t, atque adeò P r : P t = p e : P t, unde P r = p e.

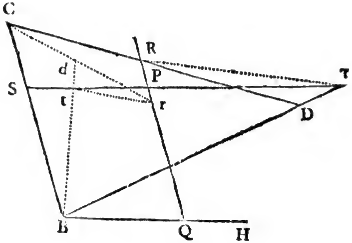
Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus.

PROPOSITIO XXIII. PROBLEMA XV.

Trajectoriam deſcribere, quæ per data quatuor puncta tranſibit, & rectam continget poſitione datam.

Caſ. 1. Dentur tangens *HB*, punctum contactus *B*, & alia tria puncta *C*, *D*, *P*. Junge *BC*, & agendo *PS* parallelam rectæ *BH*, & *PQ* parallelam rectæ *BC*, comple parallelogrammum *BSPQ*. Age *BD* ſecantem *SP* in *T*, & *CD* ſecantem



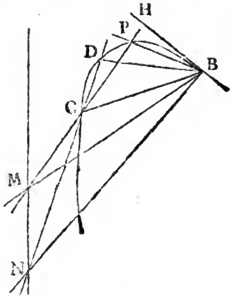
PQ in *R*. Denique, agendo quamvis *tr* ipſi *TR* parallelam, de *PQ*, *PS* abſcinde *Pr*, *Pt* ipſi *PR*, *PT* proportionales reſpectivè; & actarum *Cr*, *Bt* concurſus *d* (*per lem.* XX.) (u) incidet ſemper in trajectoriam deſcribendam.

Idem aliter.

Revolvatur tum angulus magnitudine datus *CBH* circa polum *B*, tum radius quilibet rectilineus & utrinque productus *DC* circa polum *C*. Notentur puncta *M*, *N*, in quibus anguli crus *BC*

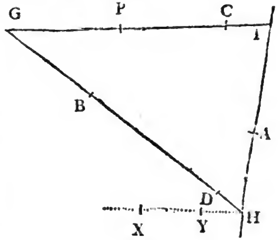
(u) * Demonſtratio clara fit, ſi in figurâ Lem. XX: punctum B accedat ad punctum A, & recta ABQ ſectionis conicæ tangens evadat.

BC ſecat radium illum, ubi crus alterum *BH* concurrit cum eodem radio in punctis *P* & *D*. Deinde ad actam infinitam *MN* concurrant perpetuo radius ille *CP* vel *CD* & anguli crus *BC*, & cruris alterius *BH* concurſus cum radio delineabit trajectoriam quæſitam.



Nam ſi in (*) conſtructionibus problematis ſuperioris accedat punctum *A* ad punctum *B*, lineæ *CA* & *CB* coincident, & linea *AB* in ultimo ſuo ſitu fiet tangens *BH*; atque ideo conſtructiones ibi poſitæ evadent eædem cum conſtructionibus hic deſcriptis. Delineabit igitur cruris *BH* concurſus cum radio ſectionem conicam per puncta *C*, *D*, *P* tranſeuntem, & rectam *BH* tangentem in puncto *B*. *Q. E. F.*

Caſ. 2. Dentur puncta quatuor *B*, *C*, *D*, *P* extra tangentem *HI* ſita. Junge bina lineis *BD*, *CP* concurrentibus in *G*, tangentique occurrentibus in *H* & *I*. Secetur tangens in *A*, ita ut ſi *HA* ad *IA*, ut eſt rectangulum ſub mediâ proportionali inter *CG* & *GP* & mediâ proportionali inter *BH* & *HD*, ad

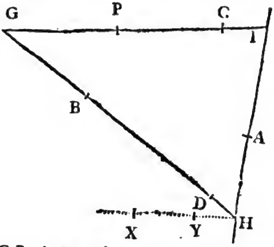


(x) * Nam in alterâ problematis XXII. ſolutione ABC, ACB, ſunt anguli circà polos C & B mobiles; undè ſi punctum A accedat ad punctum B, coincidunt crura CA, CB, & unicam rectam conſtituunt, evaneſcente angulo ACB, remanet verò angulus ABC quem tangens AB cum BC continet; quarè dum anguli ABC, crus BC cum radio AC, ſi neceſſum ſit, producto, perpetuò concurrit in rectâ aliquâ poſitione datâ ut NM, cruris AB & radii CA concurſus trajectoriam deſcribit.

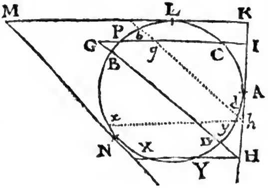
Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

ad rectangulum ſub mediâ proportionali inter *D G* & *G B* & mediâ proportionali inter *P I* & *I C*; & erit *A* punctum contactus. Nam ſi rectæ *P I* parallela *H X* trajectoriam ſecet in punctis quibuſvis *X* & *Y*: erit (ex conicis) (y) punctum *A* ita locandum, ut fuerit *H A quad.* ad *A I quad.* in ratione compoſitâ ex ratione rectanguli *X H Y* ad rectangulum *B H D*, ſeu rectanguli *C G P* ad rectangulum *D G B*, & ex ratione rectanguli *B H D* ad rectangulum *P I C*. Invento autem contactus puncto *A*, deſcribetur trajectoria ut in caſu primo. *Q. E. F.*



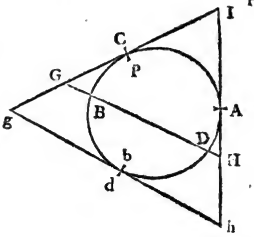
Capi autem poteſt punctum *A* vel inter puncta *H* & *I*, vel extra; & perinde trajectoria dupliciter deſcribi.



(y) 319. *Erit ex Conicis*; ſcilicet ſi A ſit punctum contactus erit (*per Cor. 3. Lem. III. de Conic. p. 119.*) HA² ad AI² ut rectangulum XHY ad rectangulum PIC, ſed ratio rectanguli XHY ad rect. PIC, poteſt conſiderari ut compoſita ex ratione rect. XHY ad rect. BHD, & ex ratione ejuſdem rect. BHD ad rect. PIC. Eſt verò rect. XHY ad rect. BHD ut rect. CGP ad rect. DGB (*per Lem. III. de Conic. p. 117.*) ſunt enim HX, GC, duæ Parallelæ in Sectione Conicâ ductæ & per tertiam lineam GH ſectæ, ideoque factum partium HX, HY Parallelæ HX, quæ ſumuntur ab interſectione H ad curvæ puncta X & Y, eſt ad BH×HD factum partium lineæ ſecantis GH ſumptarum ab interſectione H ad puncta curvæ B & D, ſicut factum partium alterius Parallelæ CG×GP, ad DG×GB factum partium correſpondentium lineæ ſecantis. Eſt ergo ratio HA² ad AI² æqualis rationi compoſitæ ex ratione rect. CGP ad rect. DGB &, rect. BHD ad rect. PIC ideoque eſt HA: ad AI ut √CGP×√BHD ad √DGB×√PIC, ſed Radices quadratæ illorum Rectangulorum ſunt ipſæ mediæ

Digitized by Google

diæ proportionales inter illorum latera; Ergo *eſt H A ad A I ut eſt rect. ſub media proportionali inter C G & G P & media proportionali inter B H & H D ad rect. ſub media proportionali inter D G & G B & media proportionali inter P I & I C.* Si itaque H I in A ſecetur in eâ ratione, habebitur punctum contactus.



320. *Coroll.* 1. Si ex punctis quibuſlibet H & I rectæ H I ſectionem conicam tangentis in A, agantur duæ quævis rectæ I G, H G convenientes in G, & ſectionem conicam ſecantes in punctis quatuor C, P, D, B; factum C G P × B H D, erit ad factum D G B × P I C, in datâ ratione, nempè in ratione HA^2, ad AI^2; Ducta enim linea H Y X lineæ I C P parallela, erit ut prius (*per Lem.* III. *de Conic. p.* 117.) D G B : B H D = C G P : $XHY = \frac{CGP \times BHD}{DGB}$, eſt verò HA^2 : $AI^2 = HXY \left(\frac{CGP \times BHD}{DGB}\right) : PIC$ (*per Cor.* 3. *ejuſdem Lem.*) ergo HA^2 : $AI^2 = CGP \times BHD : DGB \times PIC$.

Quod ſi linea H Y X, extra ſectionem cadat aut eam tangat, ex puncto quovis h lineæ H A I, ducatur alia linea h y x lineæ I C P parallela quæ ſectioni occurrat in x & y, & ducatur alia linea h d b g lineæ H D B G Parallela ita ut ſectioni occurrat in d & b, & lineæ P C in g, habebiturque ut prius $hA^2 : AI^2 = CgP \times bhd : dgb \times PIC$. Sed cùm ob parallelas G H, b h ſit (*per Lemma* 3um. *de Con. p.* 117.) $CgP : dgb = CGP : DGB$, & (*per Cor.* 3. *ejuſd. Lem.*) ſit $hA^2 : bhd = HA^2 : BHD$ ſubſtitutis his ultimis rationibus loco priorum in proportione $hA^2 : AI^2 = CgP \times bhd : dgb \times PIC$ fiet $HA^2 : AI^2 = CGP \times BHD : DGB \times PIC$ ut prius. Unde ſatis patet demonſtrationem conſtructionis univerſalem eſſe, quomodocumque rectæ G I, G H flectantur, adeóque etiam valere, ubi recta H X ſectioni non occurrit.

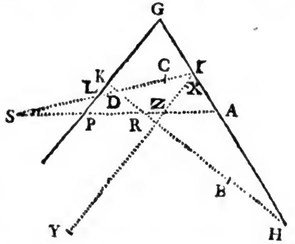
321. *Coroll.* 2. Coeuntibus punctis C, P, recta I G fit tangens in C & $GP = GC$, $CI = PI$, adeóque $CGP = GC^2$, & $PIC = CI^2$; unde in hoc caſu $HA^2 : AI^2 = GC^2 \times BHD : CI^2 \times DGB$. Coeuntibus quoque punctis B & D, & ſecante G H, in tangentem g h, mutatâ erit $hA^2 : AI^2 = gC^2 \times dh^2 : CI^2 \times gd^2$, ac proindè $hA : AI = gC \times dh : CI \times gd$; & $hA \times CI \times gd = AI \times gC \times dh$. Quare ſi ducantur tres rectæ ſectionem conicam tangentes & inter ſe concurrentes in punctis I, g, h, facta ex tribus tangentium partibus inter concurſuum & contactuum puncta alternatim ſumptis A I, C g, d h, & A h, I C, g d, ſunt æqualia.

Digitized by Google

PROPOSITIO XXIV. PROBLEMA XVI.

Trajectoriam deſcribere, quæ tranſibit per data tria puncta, & rectas duas poſitione datas continget.

Dentur tangentes *HI*, *KL* & puncta *B*, *C*, *D*. Per punctorum duo quævis *B*, *D* age rectam infinitam *BD* tangentibus occurrentem in punctis *HK*. Deinde etiam per alia duo quævis *C*, *D* age infinitam *CD* tangentibus occurrentem in punctis *I*, *L*. Actas ita ſeca in *R* & *S*, ut ſit *HR* ad *KR* ut eſt media proportionalis inter *BH* & *HD* ad mediam proportionalem inter *BK* & *KD*; & *IS* ad *LS* ut eſt media proportionalis inter *CI* & *ID* ad mediam proportionalem inter *CL* & *LD*. Seca autem pro lubitu vel inter puncta *K* & *H*, *I* & *L*, vel extra eadem; dein age *RS* ſecantem tangentes in *A* & *P*, & erunt *A* & *P* puncta contactuum. Nam ſi *A* & *P* ſupponantur eſſe puncta contactuum alicubi in tangentibus ſita; & per punctorum *H*, *I*, *K*, *L* quodvis *I*, in tangente alterutra *HI* ſitum, agatur recta *IY* tangenti alteri *KL* parallela, quæ occurrat curvæ in *X* & *Y*, & in ea ſumatur *IZ* media proportionalis inter *IX* & *IY*, erit, ex conicis, (z) rectangulum *XIY* ſeu *IZ quad.* ad *LP quad.* ut rectangulum *CID* ad rectangulum *CLD*, id eſt (per conſtructionem) ut *KI quad.* ad *SL quad.* atque ideo *IZ* ad *LP* ut *SI* ad *SL*. Jacent ergo puncta *S*, *P*,

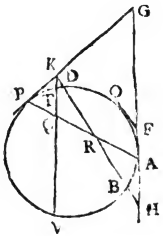


Z

(z) *Erit ex Conicis rect.* X I Y *ad* L P² *ut rect.* C I D *ad rect.* C L D. Scilicet cùm P ſupponatur punctum contactus alicubi in Tangente K L ſitum & cùm linea I Y ſit (per conſt.) parallela Tangenti K L & utraque ſecetur per lineam I L, illa in I hæc in L erit (*per Lem.* III. *de Conic. p.* 117.) rect. partium Parallelæ I Y ab inter-

Z in unâ rectâ. Porro tangentibus concurrentibus in *G*, erit (ex conicis) rectangulum *XIY* ſeu *IZ quad.* ad *IA quad.* ut *GP quad.* ad *GA quad.* ideoque *IZ* ad *IA* ut *GP* ad *GA*. Jacent ergo puncta *P*, *Z* & *A* in unâ rectâ, ideoque puncta *S*, *P* & *A* ſunt in unâ rectâ. Et (a) eodem argumento probabitur quod puncta *R*, *P* & *A* ſunt in unâ rectâ. Jacent igitur puncta contactuum *A* & *P* in rectâ *RS*. Hiſce autem inventis, trajectoria deſcribetur ut in caſu primo problematis ſuperioris (b). *Q. E. F.*

In



interſectione I ad curvæ puncta X & Y ſumptarum ad Rectang. partium Parallelæ LP ab interſectione L ad curvæ puncta (quæ coeunt in uno P quia LP debet eſſe Tangens, ideóque illud rectangulum eſt quadratum LP) ſicut rect. CID, ad rect. CLD quia nempe hæc rectangula ſunt facta partium lineæ ſecantis IL factis partium ſingulæ Parallelæ correſpondentia, ideóque (per conſt.) $IZ^2 : LP^2 = SI^2 : SL^2$ atque adeo $IZ : LP = SI : SL$, cum igitur ſit IZ parallela LP (per conſt.) puncta S, P, Z, jacent in unâ rectâ. Porrò Tangentibus concurrentibus in G, cum ſupponatur punctum contactus alicubi ſitum in Tangente GA erit (*per Cor. 2. ejuſdem Lem. III. de Con. p. 118.*) XIY (ſive IZ^2): $IA^2 = GP^2 : GA^2$ ideoque &c.

(a) *Et eodem argumento probabitur quod puncta R, P & A, ſunt in unâ rectâ*, ſi per punctum K, agatur recta KV, tangenti GH, parallela, quæ occurrat curvæ in T & V, & in eâ ſumatur KQ, media proportionalis inter KT & KV, cum recta KH ſecet Parallelas KV & AH erit (*per Lem. III. de Con. p. 117.*) rectan. VKT (ſive KQ^2) ad AH^2 ſicut rect. BKD ad rect. BHD hoc eſt ut KR^2 ad HR^2 (per conſt.) adeóque erit $KQ : AH = KR : RH$, quare puncta Q, R, & A erunt in eadem rectâ. Porrò Tangentibus concurrentibus in G erit (per Cor. 2. Lem. III. de Conic.) VKT (KQ^2): $PK^2 = GA^2 : GP^2$ & $KQ : PK = GA : GP$, unde erunt P, Q & A in eâdem rectâ, ideoque P, R, & A in eâdem rectâ.

(b) 322. *Coroll.* 1. Hinc ſi duæ rectæ HG, PG (*vid. fig. Newt.*) concurrentes in G, ſectionem conicam tangant in A & P, jungaturque AP & producatur, & ex punctis quibuſvis I & H, in unâ tangentium GH, ſumptis agantur ad idem ſectionis conicæ punctum D, duæ rectæ ID, HD, quarum altera ID ſecet ſectionem conicam in C, rectam AP in S, & tangentem GP in L, altera verò HD ſecet ſectionem in B, rectam AP, in R, & tangentem GP, in K; erit ſemper $HR^2 : KR^2 = BHD : BKD$. & $IS^2 : LS^2 = CID : CLD$, quomodocumque inflectantur rectæ ID, HD, & tangentes GA, GP.

323. *Coroll.* 2. Si puncta D & C, coeant, (*vid. fig. Newt.*) ut ILS, tangens evadat in D, ſeu C, erit $CI = DI$, & $CL = DL$, adeóque $IS^2 : LS^2 = DI^2 : DL^2$, & $IS : LS = DI : DL$. h. e. ſi Tangens IL, terminata per duas alias Tangentes, ſecet in S lineam AB jungentem puncta contactus earum Tangentium, ejus partes à ſectione S ad utramque Tangentem ſumptæ, erunt inter ſe ſicut ejus partes à puncto contactus ad eaſdem Tangentes terminatæ.

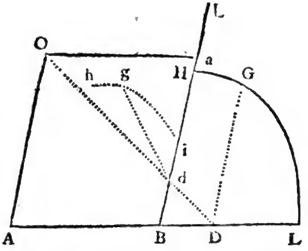
Digitized by Google

In hâc propoſitione, & caſu ſecundo propoſitionis ſuperioris conſtructiones eædem ſunt, ſive recta XY trajectoriam ſecet in X & Y, ſive non ſecet; eæque non pendent ab hâc ſectione. Sed demonſtratis conſtructionibus ubi recta illa trajectoriam ſecat, innoteſcunt conſtructiones, ubi non ſecat; iiſque ultra demonſtrandis brevitatis gratiâ non immoror.

LEMMA XXII.

Figuras in alias ejuſdem generis figuras mutare.

Tranſmutanda ſit figura quævis HGI. Ducantur pro lubitu rectæ duæ parallelæ AO, BL tertiam quamvis poſitione datam AB ſecantes in A & B, & a figuræ puncto quovis G, ad rectam AB ducatur quævis GD, ipſi OA parallela. Deinde à puncto aliquo O, in linea OA dato, ad punctum D ducatur recta OD, ipſi BL occurrens in d, & à puncto occurſus erigatur recta dg datum quemvis angulum cum rectâ BL continens, atque eam habens rationem ad Od quam habet DG ad OD; & erit g punctum in figurâ novâ hgi puncto G reſpondens. Eâdem ratione puncta ſingula figuræ primæ dabunt puncta totidem figuræ novæ. Concipe igitur punctum G motu continuo percurrere puncta omnia figuræ primæ, & punctum g motu itidem continuo percurret puncta omnia figuræ novæ & eandem deſcribet. Diſtinctionis gratiâ nominemus DG ordinatam primam, dg ordinatam novam; AD abſciſſam primam,



mam, *ad* abſciſſam novam; *O* polum, *OD* radium abſcindentem, *OA* radium ordinatum primum, & *Oa* (quo parallelogrammum *OABa* completur) radium ordinatum novum.

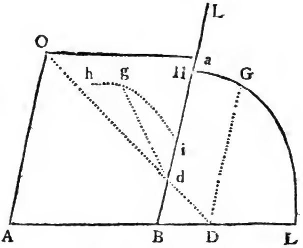
Dico jam quod, ſi punctum *G* tangit rectam lineam poſitione datam, punctum *g* tanget etiam lineam rectam poſitione datam. Si punctum *G* tangit conicam ſectionem, punctum *g* tanget etiam conicam ſectionem. Conicis ſectionibus hic circulum annumero. Porro ſi punctum *G* tangit lineam (c) tertii ordinis analytici, punctum *g* tanget lineam tertii itidem ordinis; & ſic de curvis lineis ſuperiorum ordinum. Lineæ duæ erunt ejuſdem ſemper ordinis analytici quas puncta *G*, *g* tangunt. (d) Etenim ut eſt *ad* ad *OA* ita ſunt *Od* ad *OD*, *dg* ad *DG*, & *AB* ad *AD*; ideoque *AD* æqualis eſt $\frac{OA+AB}{ad}$, & *DG* æqualis eſt $\frac{OA \times dg}{ad}$. Jam ſi punctum *G* tangit rectam lineam, atque ideo in æquatione quâvis, quâ relatio inter abſciſſam *AD* & ordinatam *DG* habetur, indeterminatæ illæ *AD* & *DG* ad unicam tantum dimenſionem aſcendunt, ſcribendo in hâc æquatione *OA*

(c) 324. NEWTONUS lineas geometricas in ordines analyticos diſtinguit ſecundùm numerum dimenſionum æquationis quâ relatio inter ordinatas & abſciſſas definitur, vel (quod proindè eſt) ſecundùm numerum punctorum in quibus à lineâ rectâ ſecari poſſunt; tot enim dimenſiones habet æquatio ad curvam quot poſſunt eſſe illius curvæ & rectæ interſectiones; nam ſi interſectiones illæ ſeorſim quærantur, quoniam eadem eſt omnium lex & conditio, idem erit calculus in caſu unoquoque & propterea eadem ſemper concluſio, quæ igitur debet omnes interſectiones ſimul complecti & indifferenter exhibere, adeòque tot eſſe debent æquationis radices ac proinde dimenſiones quot ſunt interſectiones. Hinc linea primi ordinis erit recta ſola, lineæ ſecundi ſive quadratici ordinis erunt ſectiones conicæ & circulus, & lineæ tertii ſive cubici ordinis parabola cubica, parabola Neiliana, Ciſſois veterum & aliæ. Cùm autem recta inter curvas non ſit numeranda, curva primi generis eadem eſt cum lineâ ſecundi ordinis, & curva ſecundi generis eadem cum lineâ tertii ordinis, & linea ordinis infiniteſimi ea eſt quam recta in punctis infinitis ſecare poteſt, qualis eſt ſpiralis, cyclois, quadratrix & linea omnis quæ per radii vel rotæ revolutiones infinitas generatur.

(d) 325. Etenim ob ſimilia triangula, adO, AOD, $ad:OA = Od:OD$, (& per conſtr.) $Od:OD = dg:DG$, & ob rectas AO, Bd parallelas $Od:OD = AB:AD$, unde $ad:OA = dg:DG = AB:AD$, atque adeò $AD = \frac{OA \times AB}{ad}$, & $DG = \frac{OA \times dg}{ad}$. Sit $OA = a$, $AB = b$, $AD = x$, $DG = y$, $ad = z$, $dg = u$, & erit $x = \frac{ba}{z}$, $y = \frac{ua}{z}$.

De Motu Corporum. Liber Primus.

$\frac{OA \times AB}{ad}$ pro AD, & $\frac{OA \times dg}{ad}$ pro DG, (e) producetur æquatio nova, in qua abſciſſa nova ad & ordinata nova dg ad unicam tantum dimenſionem aſcendent, atque ideo quæ deſignat lineam rectam. (f) Sin AD & DG, vel earum alterutra, aſcendebant ad duas dimenſiones in æquatione primâ, aſcendent itidem ad & dg ad duas in æquatione ſecundâ. Et (g) ſic de tribus vel pluribus dimenſionibus. Indeterminatæ ad, dg in æquatione ſecundâ, & AD, DG in primâ aſcendent ſemper ad eundem dimenſionum numerum, & propterea lineæ, quas puncta G, g tangunt, ſunt ejuſdem ordinis analytici.



Dico

(e) * Sit GI, recta poſitione data & ad illam æquatio quævis $cx + dy + ef = o$, in qua $+$, ſignificat vel $+$, vel $-$ loco x & y, ſubſtituantur eorum valores (325.) $\frac{ba}{z}$, $\frac{au}{z}$ & producetur $\frac{cba}{z} + \frac{dau}{z} + ef = o$, hoc eſt, reductione ad communem denominatorem factâ cba, $+ dau + efz = o$ æquatio nova unius dimenſionis ad rectam lineam g i.

(f) * Sit GI, ſectio conica & ad illam æquatio generalis, $cxx + dyy + exy + g^2 x + my^2 + n^3 = v$, loco x, y, ſubſtituantur $\frac{ba}{z}$, $\frac{au}{z}$, & prodibit æquatio nova ad conicam ſectionem $\frac{cb^2a^2}{z^2} + \frac{da^2u^2}{z^2} + \frac{eba^2u}{z^2} + \frac{bag^2}{z} + \frac{m^2au}{z} + n^3 = o$, hoc eſt, reductione factâ, $cb^2a^2 + da^2u^2 + eba^2u + bag^2z + m^2auz + n^3z^2 = o$.

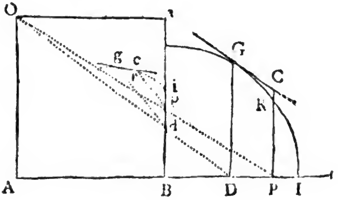
(g) * *Et ſic de tribus vel pluribus dimenſionibus*, nam ſi in ſerie $1, x, x^2, x^3, x^4$ &c. loco x, & dignitatum ejus ſubſtituantur $\frac{1}{z}$, & ipſius dignitates prodibit ſeries nova $\frac{1}{z}, \frac{1}{z^2}, \frac{1}{z^3}, \frac{1}{z^4}$ &c. & reductione ad communem denominatorem factâ habebitur $\frac{z^4, z^3, z^2, z^1.}{z^4}$. Similiter ſi in ſerie y, y^2, y^3, y^4 &c. loco y, ſubſtituatur $\frac{u}{z}$, prodibit ſeries nova $\frac{u}{z}, \frac{u^2}{z^2}, \frac{u^3}{z^3}, \frac{u^4}{z^4}$ &c. & per reductionem ad denominatorem communem $\frac{uz^3, u^2z^2, u^3z, u^4}{z^4}$, iiſdem x & y valoribus ſubſtitutis in ſeriebus

(h) Dico prætcrea, quod ſi recta aliqua tangat lineam curvam in figurâ primâ; hæc recta eodem modo cum curvâ in figuram novam tranſlata tanget lineam illam curvam in figurâ novâ; & contra. Nam ſi curvæ puncta quævis duo accedunt ad invicem & coeunt in figurâ primâ, puncta eadem tranſlata accedent ad invicem & coibunt in figurâ novâ; atque ideo rectæ, quibus hæc puncta junguntur, ſimul evadent curvarum tangentes in figurâ utrâque.

Componi poſſent harum aſſertionum demonſtrationes more magis geometrico. Sed brevitati conſulo.

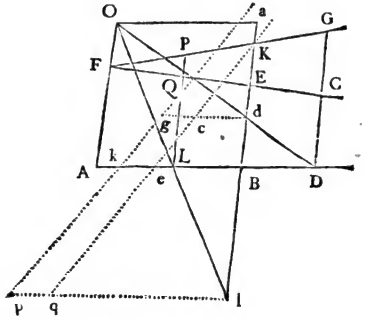
Igitur

riebus factorum x, y, xy^2, xy^3 &c. & x^2y, x^3y &c. & reductione ad communem denominatorem z^4 factâ, habebuntur ſeries $\frac{z^2u, zu^2, zu^3}{z^4}$, & $\frac{zu, u}{z^4}$. Porrò æquatio omnis ex hujuſmodi dignitatibus & factis compoſita eſt, & abjici poteſt communis omnium terminorum denominator qui hic eſt z^4, ergò hujuſmodi ſubſtitutionibus non mutatur gradus æquationis. Eadem quoque demonſtrari poſſunt ex eo quod ſi linea recta curvam HGI, ſecet in quotlibet punctis, eadem recta tranſlata curvam hgi in totidem punctis interſecare debeat, quoniam ſingulæ nec plures interſectiones in novam figuram transferuntur.



(h) 326. Recta GC curvam GI tangat in G, transferatur punctum G, in g, & ductâ PC parallelâ DG, quæ curvæ occurrat in R & tangenti in C; transferatur punctum C, in c, faciendo ut OP : PC = Op : pc parallelam dg, & recta gc, quæ puncta g, & c, jungit, novam curvam gi, tanget in g, nam accedat PC, ad DG, & accedat correſpondens pc, ad dg, & punctis C, R, G, coeuntibus, coibunt in figurâ novâ puncta c, r, g, adeóque linea gc, poſitione coincidit cum chordâ evaneſcente gr, hoc eſt cum tangente in g. Idem aliâ ratione poteſt demonſtrari; quoniam enim PC : pc = PO : po = PR : pr, & proinde PC : PR = pc : pr, ergo punctum c; non eſt in curvâ gi, niſi cum C reperitur in curvâ GI, hoc eſt, niſi C & G coeant.

Igitur ſi figura rectilinea in aliam tranſmutanda eſt, ſufficit rectarum, à quibus conſlatur, interſectiones transferre, & per eaſdem in figurâ novâ lineas rectas ducere. Sin curvilineam tranſmutare oportet, transferenda ſunt puncta, tangentes, & lineæ rectæ, quarum ope curva linea definitur. Inſervit autem hoc lemma ſolutioni difficiliorum problematum, tranſmutando figuras propoſitas in ſimpliciores. Nam (i) rectæ quævis convergentes.



(i) 327. Radius ordinatus primus O A, per concurſum F rectarum F G, F C tranſeat, ductâ G D radio O A parallelâ, transferantur puncta G, C, in g, c, & punctá K, E, in k, e, rectæ k g, e c, erunt parallelæ; nam ducta intelligatur O L radio O A infinitè proxima, & rectas A D, a B ſecans in L & l, & actâ L Q P radio O A, parallelâ, puncta P, Q in p, q, tranſlata concipiantur, & erit O L : O l = P L : p l = Q L : q l. coeuntibus verò punctis P, Q, F erit O l infinita & Q L = F A = P L, adeóque p l = q l. Punctum igitur concurſus F ad diſtantiam infinitam transfertur, & lineæ g p, c q, ad illud convergentes ſunt parallelæ.

328. *Coroll.* 1. Puncta K & F, ſeu interſectiones linearum F G, F C cum a B, transferuntur capiendo in novâ ordinatâ B k = B K, B e = B E; eſt enim (per conſtr.) B K : B O = B k : B O. & B E : B O = B e : B O.

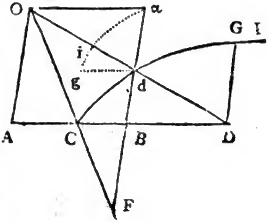
329. *Coroll.* 2. Si punctum F, cum puncto A, coincidat, erunt g k, c e, rectis O A, a B parallelæ; nam ob parallelas B K, D G, A O & (per conſtr.) A B : A D = O d : O D = d g : D G, & coeuntibus punctis F, A, A B : A D = B K (B k) : D G, adeóque d g : D G = B k : D G, ac proindè B k = d g, undè g k lineæ B d eſt parallela.

330.

Digitized by Google

gentes tranſmutantur in parallelas, adhibendo pro radio ordinato primo lineam quamvis rectam, quæ per concurſum convergentium tranſit; idque quia concurſus ille hoc pacto abit in infinitum; lineæ autem parallelæ ſunt, quæ nuſquam concurrunt. Poſtquam autem problema ſolvitur in figurâ novâ; ſi per inverſas operationes tranſmutetur hæc figura in figuram primam, (k) habebitur ſolutio quæſita.

(l) Utile eſt etiam hoc lemma in ſolutione ſolidorum problematum. Nam quoties duæ ſectiones conicæ obvenerint, quarum interſectione problema ſolvi poteſt, tranſmutare licet earum alterutram, ſi hyperbola ſit vel parabola, in ellipſin: deinde ellipſis facile mutatur in circulum. Recta item & ſectio conica, in conſtructione planorum problematum, vertuntur in rectam & circulum.



330. *Coroll.* 3. Si recta linea F G ; coincidat cum A D, transformabitur in rectam coincidentem cum a B, nam punctum D, transfertur in d, punctum L, in l.

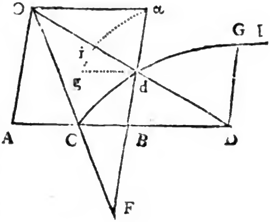
(k) 331. (*Vide fig. Newt. pag.* 218.) Figura h g i data in figuram primam H G I, transformatur, faciendo ut O d, ad d g, ita O D, ad D G, parallelam radio O A.

(l) 332. Sit curva C G I, parabola cujus diameter C D, diametri vertex C, ordinata G D radio ordinato primo A O parallela, latus rectum l, ſitque O A $= a$, A B $= b$, A C $= c$. A D $= x$, C D $= x - c$ G D $= y$, nova abſciſſa, a d $= z$, nova ordinata g d $= u$, erit ex naturâ parabolæ $lx - lc = yy$, & ſubſtitutis pro x, & y, eorum valoribus $\frac{ba}{z}$, $\frac{bu}{z}$ (325) producetur æquatio nova ad novam curvam g i; $\frac{lba}{z} - lc = \frac{b^2u^2}{z^2}$, hoc eſt, reductione factâ $b^2u^2 - lbaz + lcz^2 = 0$, æquatio ad Ellipſin cujus diameter a F $= \frac{ba}{c}$, latus rectum $= \frac{la}{b}$, nam $\frac{baz}{c} - z^2 : u^2 = \frac{ba}{c} : \frac{la}{b}$.

Si nova ordinata g d, ponatur ad abſciſſam a d, perpendicularis, & præterea fiat $lc = b^2$, ſive $l \times$ A C $=$ A B^2 ſuperior ad Ellipſim æquatio in hanc mutabitur $u^2 - \frac{baz}{c} + zz = o$, quæ eſt ad circulum cujus diameter $\frac{ba}{c}$, ex tribus autem rectis a, b, c, binæ a & b, vel a & c; poſſunt ad arbitrium aſſumi, & tertia determi-

terminatur per æquationem $lc = bb$, in circulo.

Si vertex C cum puncto A coeat, hoc eſt, ſi $AC = c = o$ æquatio ad novam curvam erit $b^2 u^2 - lbaz = o$, hoc eſt, curva g i, erit parabola; & eodem modo invenitur Ellipſim & Hyperbolam atque adeò Sectiones omnes conicas in parabolam transformari, dum diametri A D radio O a parallelæ vertex C coincidit cum puncto A radii ordinati primi O A ordinatis ad diametrum paralleli.

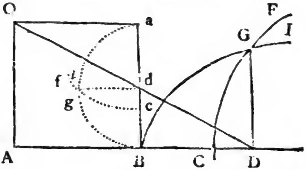


Si parabolæ vertex C cum puncto B coeat, erit $b = c$, adeóque Ellipſis vel circuli g i diameter $\frac{ba}{c}$, erit $a = $ O A $=$ a B.

Si curva C G I, fuerit hyperbola cujus ſit diameter d, latus rectum l, manentibus cæteris denominationibus ut ſuprà, erit ex naturâ hyperbolæ $dy^2 = lx^2 - 2clx + dlx - ldc + lcc$, & ſubſtitutis loco x & y, eorum valoribus & reductione ad communem denominatorem factâ producetur.

$$db^2u^2 + 2clbaz + ldcz^2 - lb^2a^2 = o$$
$$- dlbaz - lc^2z^2$$

nova æquatio ad parabolam vel hyperbolam aut Ellipſim prout aſſumitur linea c, æqualis vel major vel minor diametro d; Ellipſis autem in circulum abit ponendo $ldc - lc^2 = db^2$, & angulum g d a, rectum, ut ex locorum geometricorum doctrinâ liquet. Eâdem ratione transformatur Ellipſis.



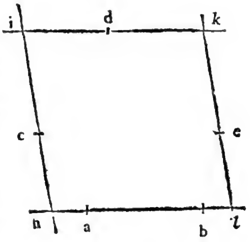
333. His præmiſſis facilè intelligitur hujus lemmatis uſus in ſolidorum aut etiam planorum problematum ſolutione. Nam ſit quærenda interſectio G conicæ ſectionis B G I cum alterâ ſectione conicâ aut rectâ lineâ C G F poſitione datâ. transformetur (332.) ſectio conica B G I in circulum B G a, & linea C G F, in lineam c g f, tum ex puncto interſectionis g, circuli B g a, & lineæ c g f, demittatur ad a B nova ordinata ſive perpendicularis g d, & per punctum d, agatur radius abſcindens O d D ſecans rectam A B in D, denique per D agatur G D radio ordinato primo O A parallela quæ ſit ad O D ut g d, ad O d, & erit G punctum interſectionis quæſitum. Cum enim in puncto interſectionis duarum linearum B G I, C G F, communis ſit ordinata G D manifeſtum eſt interſectionem illam transformari in interſectionem linearum B g a, c g f, & vice verſâ (331).

PRO-

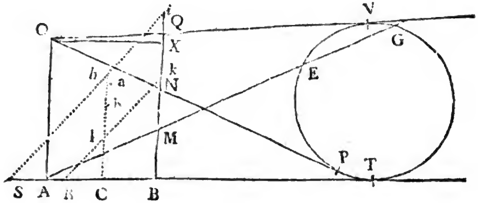
Digitized by Google

PROPOSITIO XXV. PROBLEMA XVII.

Trajectoriam deſcribere, quæ per data duo puncta tranſibit, & rectas tres continget poſitione datas.

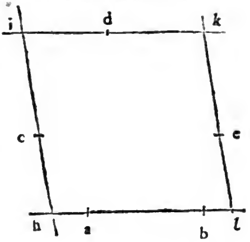


Per concurſum tangentium quarumvis duarum cum ſe invicem, & concurſum tangentis tertiæ cum recta illa, quæ per puncta duo data tranſit, age rectam infinitam; eaque adhibita pro radio ordinato primo, tranſmutetur figura, per lemma ſuperius, in figuram novam. (m) In hâc figurâ tangentes illæ duæ evadent ſibi invicem parallelæ, & tan-



(m) 334. Sit O, concurſus tangentium duarum O V, O P, A concurſus tangentis tertiæ A T, cum rectâ A G, quæ per puncta duo E, G, data tranſit, age rectam infinitam O A, eâque adhibitâ pro radio ordinato primo, & O X parallelâ A T, pro radio ordinato novo uſurpatâ, tranſmutetur figura in figuram novam, quod facillimum eſt, ſi ordinatæ novæ parallelæ ſumantur radio ordinato novo O X, nam recta A T transformatur in rectam B X i (330), recta A G in rectam C h ipſi B X parallelam (329) & punctum illius C, reperitur, capiendo B C = B M (328). rectæ O V, O P tranſmutantur in rectas parallelas R k, S i, (327); earumque puncta R, S, habentur capiendo B R = B N, B S = B Q, & alia puncta duo (per *Lem.* XXII.) facilè reperiuntur. Puncta E, & G, transferantur in b, & a, & productis lineis parallelis B i & C h, R k, & S i, donec ſibi mutuò occurrant, compleatur parallelogrammum l h i k, & nova ſectio conica tranſibit per puncta b, & a, & tangetur à rectis tribus h i, l k, k i (326).

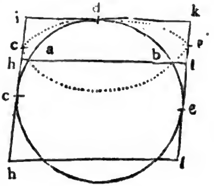
* Inter



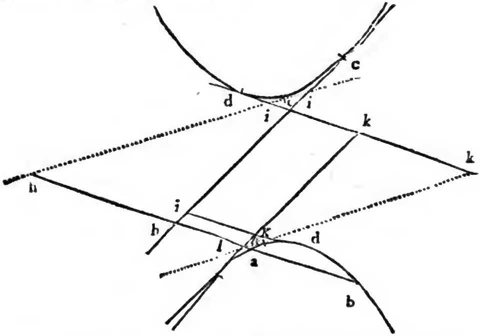
gens tertia fiet parallela rectæ per puncta duo data tranſeunti. Sunto hi, kl tangentes illæ duæ parallelæ, ik tangens tertia, & hl recta huic parallela tranſiens per puncta illa a, b, per quæ conica ſectio in hâc figurâ novâ tranſire debet, & parallelogrammum $hikl$ cómplens. (ⁿ) Secentur rectæ hi, ik, kl in c, d, e, ita ut ſit hc ad latus quadratum rectanguli ahb, ic ad id, & ke ad kd ut eſt ſumma rectarum hi & kl ad ſummam trium linearum, quarum prima eſt recta ik, alteræ duæ ſunt latera quadrata rectangulorum ahb & alb: & erunt c, d, e puncta contactuum. Etenim, ex conicis, ſunt hc quadratum ad rectangulum ahb, & ic quadratum ad id quadratum, & ke quadratum ad kd quadratum, & el quadratum ad rectangulum alb in eâdem ratione; & propterea hc ad latus quadratum ipſius ahb, ic ad id, ke ad kd & el ad latus quadratum ipſius alb ſunt in ſubduplicatâ illâ ratione, & compoſitè, in datâ ratione omnium antecedentium hi & kl ad omnes conſequentes, quæ ſunt latus quadratum rectanguli ahb, & recta ik, & latus quadratum rectanguli alb. Habentur igitur

* (n) Inter a h, h b, quæratur media proportionalis quæ dicatur *M*, & inter a l, l b, media proportionalis *N*; & deinde ita ſecentur rectæ h i, i k, k l, in c, d, e, ut ſit h c, ad *M*, i c, ad i d, & k e ad k d, ut eſt $hi + kl$, ad $ik + M + N$, & erunt c, d, e, puncta contactuum; Etenim ſi fuerint c, d, e, puncta contactuum, ob h i parallelam tangenti i k, quæ cum alterâ tangente h i, concurrit in i, erit (*per prop. 16. & 18. lib. 3. Conic. Apoll. ſive per Corol. 2. Lem. III. de Conic. p. 118.*) $hc^2 : ah \times hb = ic^2 : id^2$, & o b, h i, occurrentem ſectioni in ſolo puncto c, & parallelam tangenti l k, quæ alteri tangenti i k occurrit in k, erit (per eaſdem *prop. Apoll.*) $ic \times ic$ $(ic^2) : id^2 = ke^2 : kd^2$, & o b, h l, parallelam tangenti i k, quæ cum alterâ tangente l k, convenit in k, erit (*per eaſdem prop. Apoll.*) $ke^2 : kd^2 = el^2 : al \times lb$, adeóque $hc^2 : ah \times hb = ic^2 : id^2 = ke^2 : kd^2 = el^2 : al \times lb$, & propterea $hc : \sqrt{ah \times hb}\,(M) = ic : id = ke : kd = el : \sqrt{al = lb}\,(N)$, & compoſitè ſumma omnium antecedentium eſt ad ſummam omnium conſequentium ut quilibet antecedens ad ſuum conſequentem, hoc eſt $hc : M = ic : id = ke : kd = el : N = hc + ic + ke + el\,(hi + kl) : M + id + kd + N\,(ik + M + N)$. Habentur igitur (per conſtr.) ex datâ illâ ratione puncta contactuum c, d, e, in figurâ novâ per inverſas operationes (331.)

ex datâ illâ ratione puncta contactuum *c, d, e*, in figura nova. Per inverſas operationes lemmatis noviſſimi transferantur hæc puncta in figuram primam, & ibi (*per prob.* XIV.) deſcribetur trajectoria. *Q. E. F.* (°) Cæterum perinde ut puncta *a*, *b* jacent vel inter puncta *h, l*, vel extra, debent puncta *c*, *d*, *e* vel inter puncta *h, i, k, l* capi, vel extra. Si punctorum *a*, *b* alterutrum cadit inter puncta *h, l*, & alterum extra, problema impoſſibile eſt. PRO-



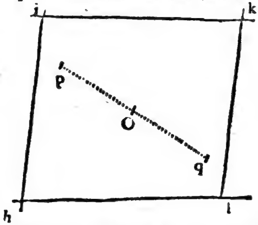
(o) 335. Quoniam duæ parallelæ h i, l k, neque parabolam, neque hyperbolam ſimplicem contingere poſſunt, tangent hyperbolas oppoſitas vel ellipſim, circulo inter ellipſes annumerato. Porrò Ellipſis tota inter tangentes parallelas, & hyperbolæ oppoſitæ totæ extra eaſdem ſunt; quare in Ellipſi puncta a, b, inter puncta h, l, ſita ſunt; in hyperbolis extra; atque adeò ſi punctorum a, b, alterum cadit inter puncta h, l & alterum extrà, problema impoſſibile eſt. In Ellipſi punctum contactûs d, inter puncta i, k, neceſſariò cadit; alia duo c, e, inter puncta h & i, l & k, vel aliquandò extrà eſſe poſſunt; in hyperbolis oppoſitis contactuum puncta duo ut c, d, extrà puncta h, i, k, l, neceſſariò poſita ſunt, tertium ut e, vel extrà vel intra eſſe poteſt, undè præſcribit NEWTONUS ut puncta c, d, e, vel inter puncta h, i, k, l; vel extrà capiantur, perindè ut puncta a, b, jacent vel inter puncta h, l, vel extrà.



PROPOSITIO XXVI. PROBLEMA XVIII.

Trajectoriam deſcribere, quæ tranſibit per punctum datum, & rectas quatuor poſitione datas continget.

Ab interſectione communi duarum quarumlibet tangentium ad interſectionem communem reliquarum duarum agatur recta infinita, & eâdem pro radio ordinato primo adhibitâ, tranſmutetur figura (*per lem.* XXII.) in figuram novam, & tangentes binæ, quæ ad radium ordinatum primum concurrebant, jam evadent parallelæ. Sunto illæ *h i* & *k l*, *i k* & *h l* continentes parallelogrammum *h i k l*. Sitque *p* punctum in hâc novâ figurâ puncto in figurâ primâ dato reſpondens. (p) Per figuræ centrum *O* agatur *p q*, & exiſtente *O q* æquali *O p*, erit *q* punctum alterum per quod ſectio conica in hâc figurâ novâ tranſire debet. Per lemmatis XXII. operationem inverſam transferatur hoc punctum in figuram primam, & ibi habebuntur puncta duo per quæ trajectoria deſcribenda eſt. Per eadem vero deſcribi poteſt trajectoria illa per problema XVII. *Q. E. F.*



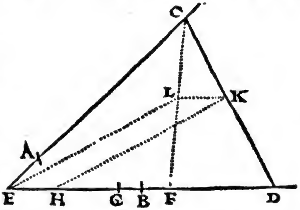
LEM-

(p) 336. Parallelogrammi h, i, k, l; ſectioni conicæ circumſcripti diagonales in ſectionis centro O, ſe mutuò interſecant. Nam rectæ quæ oppoſita contactuum puncta jungunt; ſunt ſectionis diametri centro O biſectæ (*per prop.* 27. & 31. *Lib.* 2. *Conic. Apoll.* utque ſequitur ex *Lem.* IV. de Conic. p. 119).

LEMMA XXIII.

Si rectæ duæ poſitione datæ A C, B D *ad data puncta* A, B, *terminentur, datamque habeant rationem ad invicem, & recta* C D, *quâ puncta indeterminata* C, D *junguntur, ſecetur in ratione datâ in* K: *dico quod punctum* K *locabitur in rectâ poſitione datâ.*

(q) Concurrant enim rectæ *A C*, *B D* in *E*, & in *B E* capiatur *BG* ad *AE* ut eſt *BD* ad *AC*, ſitque *FD* ſemper æqualis datæ *EG*; & erit ex conſtructione *EC* ad *GD*, hoc eſt, ad *E F* ut *A C* ad *B D*, ideoque in ratione datâ, & propterea dabitur ſpecie triangulum *E FC*. Secetur *CF* in *L* ut ſit *CL* ad *CF* in ratione *CK* ad *CD*; & ob datam illam rationem, dabitur etiam ſpecie triangulum *EFL*; proindeque punctum *L* locabitur in rectâ *E L* poſitione datâ. Junge *LK*, & ſimilia erunt triangula *CLK*, *CFD*; & ob datam *FD* & datam rationem *LK* ad *FD* dabitur *LK*. Huic æqualis capiatur *EH*, & erit ſemper *E L K H* parallelogrammum. Locatur igitur punctum *K* in parallelogrammi illius latere poſitione dato *HK*. *Q. E. D.*



Corol. Ob datam ſpecie figuram *E F L C*, rectæ tres *E F*, *E L* & *E C*, id eſt *G D*, *H K* & *E C*, datas habent rationes ad invicem.

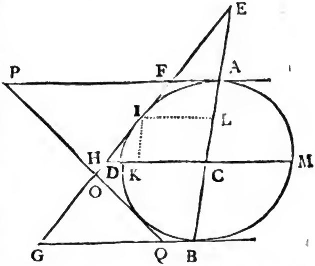
LEM-

(q) *Vid. not.* 67. *pag.* 39.

LEMMA XXIV.

Si rectæ tres tangant quamcunque coni ſectionem, quarum duæ parallelæ ſint ac dentur poſitione; dico quod ſectionis ſemidiameter hiſce duabus parallela, ſit media proportionalis inter harum ſegmenta, punctis contactuum & tangenti tertiæ interjecta.

Sunto *AF*, *GB* parallelæ duæ coni ſectionem *ADB* tangentes in *A* & *B*; *EF* recta tertia coni ſectionem tangens in *I*, & occurrens prioribus tangentibus in *F* & *G*; ſitque *CD* ſemidiameter figuræ tangentibus parallela: dico quod *AF*, *CD*, *BG* ſunt continuè proportionales.



Nam ſi diametri conjugatæ *AB*, *DM* tangenti *FG* occurrant in *E* & *H* ſeque mutuo ſecent in *C*, & compleatur parallelogrammum *IKCL*; (r) erit ex naturâ ſectionum conicarum ut *EC* ad *CA* ita *CA* ad *CL*, & ita diviſim *EC* — *CA* ad *CA* — *CL*, ſeu *EA* ad *AL*, & compoſitè *EA* ad *EA* + *AL* ſeu *EL* ut *EC* ad *EC* + *CA* ſeu *EB*; ideoque, ob ſimilitudinem triangulorum *EAF*, *ELI*, *ECH*, *EBG*, *AF* ad *LI* ut *CH* ad *BG*. Eſt itidem, ex naturâ ſectionum conicarum, *LI* ſeu *CK* ad *CD* ut *CD* ad *CH*; (ſ) atque ideo ex æquo perturbatè *AF* ad *CD* ut *CD* ad *BG*. *Q. E. D.*

Co-

(r) * *Erit ex naturâ ſectionum conicarum &c.* (per prop. 37. 38. Lib. 1. Conic. *Apoll.* vide cor. 2. *Lem.* V. de Conic. p. 121).

(ſ) * Cùm ſit EA : EL = EC : EB; & ob ſimilitudinem triangulorum EAF, EIL ſit EA : EL = AF : LI, ſeu CK, & ob ſimilitudinem triangulorum ECH, EBG,

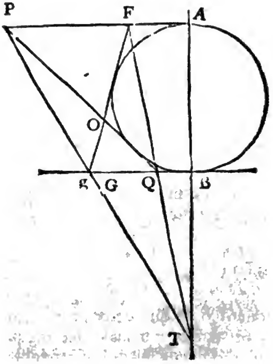
Corol. 1. Hinc ſi tangentes duæ *FG*, *PQ* tangentibus parallelis *AF*, *BG* occurrant in *F* & *G*, *P* & *Q*, ſeque mutuo ſecent in *O*; erit ex æquo perturbatè *AF* ad *BQ* ut *AP* ad *BG*, (t) & diviſim ut *FP* ad *GQ*, atque ideo ut *FO* ad *OG*.

Corol. 2. (u) Unde etiam rectæ duæ *PG*, *FQ*, per puncta *P* & *G*, *F* & *Q* ductæ, concurrent ad rectam *ACB* per centrum figuræ & puncta contactuum *A*, *B* tranſeuntem.

LEM-

EBG ſit EC : EB = CH : BG, erit AF : CK = CH : BG, & quia (ex conic. loco citato) CK : CD = CD : CH, erit AF × CK : CK × CD = CH × CD : BG × CH, hoc eſt, AF : CD = CD : BG.

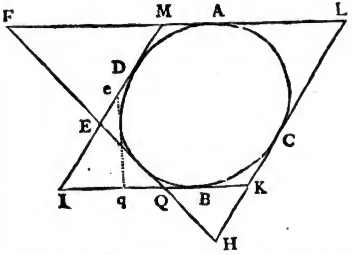
(t) * Eſt enim AF : CD = CD : BG, & ſimiliter BQ : CD = CD : AP, ſeu CD : BQ = AP : CD, adeóque AF × CD : CD × BQ = CD × AP : BG × CD, hoc eſt AF : BQ = AP : BG = AP—AF : BG—BQ = FP : GQ = FO : OG, ob ſimilia triangula FOP, GOQ.



(u) * Agatur enim recta FQ, ipſi AB occurrens in T, & jungatur PT, rectam BG, ſecans in g, erit AF : BQ = AT : BT = AP : Bg, ſed per *coroll.* 1. AF : BQ = AP : BG, eſt igitur BG = Bg ac proinde punctum g, cum G coincidit.

LEMMA XXV.

Si parallelogrammi latera quatuor infinite producta tangant ſectionem quamcunque conicam, & abſcindantur ad tangentem quamvis quintam; ſumantur autem laterum quorumvis duorum conterminorum abſciſſæ terminatæ ad angulos oppoſitos parallelogrammi: dico quod abſciſſa alterutra ſit ad latus illud a quo eſt abſciſſa, ut pars lateris alterius contermini inter punctum contactus & latus tertium eſt ad abſciſſarum alteram.



Tangant parallelogrammi *MLIK* latera quatuor *ML*, *IK*, *KL*, *MI* ſectionem conicam in *A*, *B*, *C*, *D*, & ſecet tangens quinta *FQ* hæc latera in *F*, *Q*, *H* & *E*; ſumantur autem laterum *MI*, *KI* abſciſſæ *ME*, *KQ*, vel laterum *KL*, *ML*, abſciſſæ *KH*, *MF*: dico quod ſit *ME* ad *MI* ut *BK* ad *KQ*; & *KH* ad *KL* ut *AM* ad *MF*. Nam per corollarium primum lemmatis ſuperioris eſt *ME* ad *EI* ut *AM* ſeu *BK* ad *BQ*, & componendo *ME* ad *MI* ut *BK* ad *KQ*. *Q.E.D.* Item *KH* ad *HL* ut (x) *BK* ſeu *AM* ad *AF*, & dividendo *KH* ad *KL* ut *AM* ad *MF*. *Q.E.D.*

Corol. 1. Hinc ſi datur parallelogrammum *IKLM*, circa datam ſectionem conicam deſcriptum, dabitur rectangulum *KQ* × *ME*, ut & huic æquale rectangulum *KH* × *MF*. Æquantur enim rectangula illa ob ſimilitudinem triangulorum *KQH*, *MFE*.

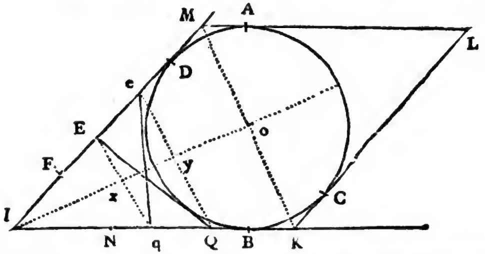
Co-

(x) * Nam ſi puncta contactuum A, & B, recta jungantur, hæc tranſibit per centrum commune ſectionis conicæ & parallelogrammi, (336) adeóque erit A M = B K.

Corol. 2. Et ſi ſexta ducatur tangens *e q* tangentibus *K I*, *M I* occurrens in *q* & *e*; (y) rectangulum $KQ \times ME$ æquabitur rectangulo $Kq \times Me$; eritque *K Q* ad *M e* ut *K q* ad *M E*, & diviſim ut *Q q* ad *E e*.

Corol. 3. Unde etiam ſi *E q*, *e Q* jungantur & biſecentur, & recta per puncta biſectionum agatur, tranſibit hæc per centrum ſectionis conicæ. Nam cum ſit *Q q* ad *E e* ut *K Q* ad *M e*, tranſibit eadem recta per medium omnium *E q*, *e Q*, *M K* (z) (*per lem.* XXIII.) & medium rectæ *M K* eſt centrum ſectionis. (a) PRO-

(y) * Nam rectangula K Q × M E, K q × M e, æquantur rectangulo M I × B K.



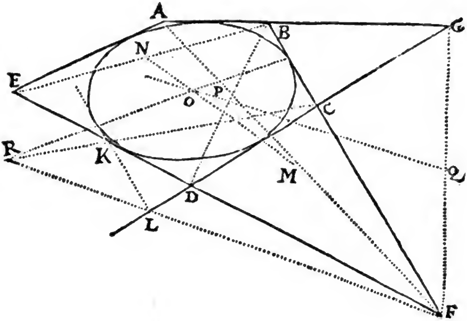
(z) * In rectis I M, I K, poſitione datis capiatur q N, ad E F, ut eſt q Q, ad E e, & puncta N, F, tanquam data ſeu fixa conſiderentur, & erit N q : F E = q Q : E e = Q K : e M, & compoſitè, N q : F E = N Q : F e = N K : F M; quarè ſi rectæ E q, e Q, M K, quibus puncta indeterminata E, & q, E, Q, M & K junguntur, ſecentur in ratione datâ in x, y, o, puncta omnia x, y, o, locantur in unâ eâdemque rectâ x y, (*per Lem.* XXIII.) Si itaque recta x y, lineas E q, e Q, biſecat, rectam M K biſecabit, adeóque (336). per centrum ſectionis conicæ tranſibit.

(a) Hinc ſi lineæ quatuor ut E D, e q, E Q, Q B ſectionem Conicam tangant & ſibi mutuò occurrant in punctis e, E, q, Q junganturque puncta oppoſita e, Q & E, q, biſariamque dividantur lineæ e Q, E q, linea eas biſecans erit locus centri figuræ: Idque ſemper verum erit quamcumque figuram faciant lineæ E D, e q, E Q, Q B ſive ſeſe decuſſent ſive Trapezium conſtituant, Concipiatur illas Diametros duci quarum vertex eſt in puncto contactûs harum linearum donec occurrant curvæ altero ſuo vertice, Tangentes in eo vertice ductæ erunt parallelæ prioribus: Dabuntur ergo Parallelæ duabus lineis E D, Q B, quæ erunt Tangentes curvæ, ideoque fiet ut in Lemmatis Hypotheſi Parallelogrammum M I K L conſtans quatuor Tangentibus quarum oppoſitæ erunt inter ſe Parallelæ, & Tangentes E Q & e q conſiderari poterunt ut quinta & ſexta Tangens de quibus agitur in hoc Lemmate, ideoque per ejus corollarium 3. *ſi biſecentur lineæ E q e Q & recta per biſectionum puncta agatur tranſibit hæc per centrum Sectionis Conicæ &c.*

Digitized by Google

PROPOSITIO XXVII. PROBLEMA XIX.

Trajectoriam deſcribere, quæ rectas quinque poſitione datas continget.



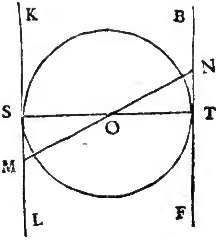
Dentur poſitione tangentes *ABG*, *BCF*, *GCD*, *FDE*; *EA*. Figuræ quadrilateræ ſub quatuor quibuſvis contentæ *ABFE* diagonales *AF*, *BE* biſeca in *M* & *N*, & (*per corol.* 3. *lem.* XXV.) recta *MN* per puncta biſectionum acta tranſibit per centrum trajectoriæ. Rurſus figuræ quadrilateræ *BGDF*, ſub aliis quibuſvis quatuor tangentibus contentæ, diagonales (ut ita dicam) *BD*, *GF* biſeca in *P* & *Q* : & recta *PQ* per puncta biſectionum acta tranſibit per centrum trajectoriæ. Dabitur ergo

Digitized by Google

go centrum in concurſu biſecantium. Sit illud *O*. (b) Tangenti cuivis *B C* parallelam age *K L*, ad eam diſtantiam ut centrum *O* in medio inter parallelas locetur, & acta *K L* tanget trajectoriam deſcribendam. Secet hæc tangentes alias quaſvis duas *G C D*, *F D E* in *L* & *K*. Per harum tangentium non parallelarum *C L*, *F K* cum parallelis *C F*, *K L* concurſus *C* & *K*, *F* & *L* age *C K*, *F L* concurrentes in *R*, & recta *O R* ducta & producta ſecabit tangentes parallelas *C F*, *K L* in punctis contactuum. Patet hoc *per corol.* 2. *lem.* XXIV. Eâdem methodo invenire licet alia contactuum puncta, & tum demum per conſtruct. prob. XIV. trajectoriam deſcribere. *Q. E. F.*

Scholium.

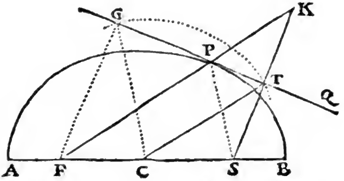
Problemata, ubi dantur trajectoriarum vel centra vel aſymptoti, includuntur in præcedentibus. (c) Nam datis punctis & tangentibus unà cum centro, dantur alia totidem puncta aliæque tangentes à centro ex alterâ parte æqualiter diſtantes. Aſymp-

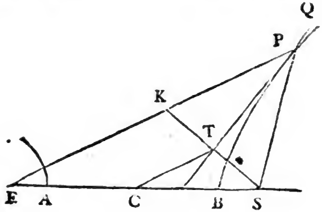


(b) 337. Datis ſectionis conicæ centro O, & tangente quâvis B F, altera tangens L K datæ parallela facile invenitur; Nam per centrum O ducatur recta quævis infinita M O N tangenti datæ occurrens in N, & ſumptâ O M = O N per M ducatur M K tangenti datæ F B parallela, erit M K tangens; ſi enim per punctum contactûs T & centrum O agatur ſectionis diameter T O S, erit S O = O T & tangens in S tangenti in T parallela lineam N O M ita ſecabit in M, ut ſit M O = O N, ob, S O : O T = M O : O N.

(c) 338. Hinc datis præter centrum tribus tangentibus non parallelis vel duabus tangentibus convergentibus & puncto, vel tangente & punctis duobus, vel punctis tribus, dantur ſex tangentes, vel tangentes quatuor & puncta duo, vel tangens & puncta quatuor, vel puncta ſex, quibus datis trajectoria deſcribi poteſt per prop. (27. 26. 25. 24. 23. 22.). Ex datis centro, alterutro axe, & duabus tangentibus non parallelis, vel tangente & puncto trajectoriæ Ellipticæ & Hyperbolicæ ex lemmatis ſequentibus facilè deſcribuntur.

Aſymptotos autem pro tangente habenda eſt, & ejus terminus infinitè diſtans (ſi ita loqui fas ſit) pro puncto contactus. Concipe tangentis cujuſvis punctum contactus abire in infinitum, & tangens vertetur in Aſymptoton, atque conſtructiones problematum præcedentium vertentur in conſtructiones ubi Aſymptotos datur.

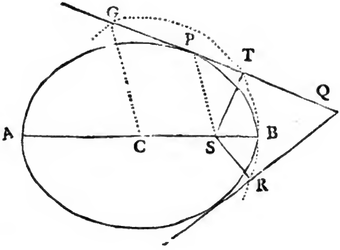




339. *Lemma.* Si ex ſectionis conicæ umbilico utrovis S demittantur ad tangentem P Q normales S T, F G, rectæ C T, C G centrum ſectionis C & puncta interſectionum T, G jungentes æquales erunt ſemiaxi principali C B, & parallelæ lineis F P, S P ex altero umbilico F & S ad punctum contactûs P ductæ. Producantur enim F P, S T, donec concurrant in K, & erit (*per Lem.* XV. *Newt.*) F K = 2 C B, K T = T S, cùmque ſit etiam F C = C S, erit S T : S K = S C : S F, & ideo quia latera S K S F ſecantur proportionaliter in T & C erit C T parallela F K ſive F P, ideoque erit S T : S K = C T : F K & quia S T = ½ S K erit C T æqualis ½ F K, ſeu æqualis C B. Eodem modo probabitur, C G eſſe æqualem C B & parallelam lineæ P S.

340.

Digitized by Google

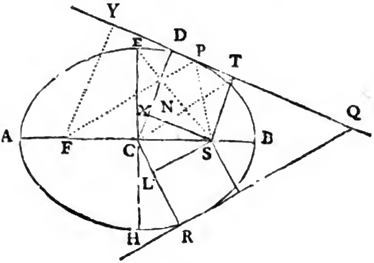


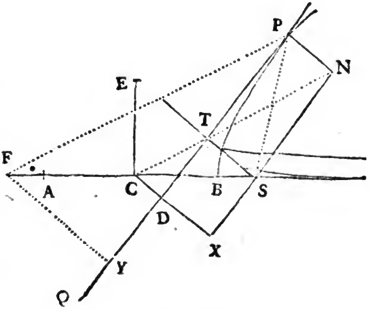
340. Datis centro C, duabus tangentibus P Q, E Q convergentibus & axe principali A B, deſcribitur ſectio conica. Nam ſi centro C & intervallo C B æqualis ſemiaxi principali deſcribatur circulus tangentes ſecans in T & R, agantur tangentibus perpendiculares T S, R S, concurrentes in S, erit punctum S, alteruter umbilicus quo dato cum centro C, dantur poſitio axis principalis C B, & ipſius longitudo ac umbilici duo.

341. Datis centro C, tangente P Q, & puncto contactûs P, cum axe principali, trajectoria conica deſcribitur. Centro enim C, & intervallo æquali ſemiaxi principali deſcribatur circulus tangentem ſecans in T & G; in T excitetur perpendiculum T S, & junctâ C G, per punctum contactûs ducatur P S ipſi C G parallela perpendiculo T S occurrens in S, erit S umbilicus (339).

 342. Si

342. Si ex centro C ſectionis conicæ ad tangentem P Q, demittatur perpendicularis CD, & ex altero umbilico S ad C D agatur normalis S X, ſitque C E ſemiaxis minùs principalis, erit in ellipſi $CX^2 = CD^2 = CE^2$, & in hyperbolâ $CX^2 = CD^2 + CE^2$, & demiſſâ ex umbilico in tangentem perpendiculari S T, junctâque CT, rectam SX ſecante in N, erit in utrâque ſectione XN æqualis D P diſtantiæ puncti contactûs P à perpendiculari C D; Nam in Ellipſi $CS^2 = CI^2 (CB^2) - CE^2$, in Hyperbolâ $CS^2 = CT^2 + CE^2$, & in utrâque ſectione $CS^2 = CX^2 + SX^2 = CX^2 + DT^2$; Ergò in Ellipſi $CX^2 + DT^2 = TT^2 - CE^2 = CD^2 + DT^2 - CE^2$, & hinc $CX^2 = CD^2 - CE^2$, & in hyperbolâ $CX^2 + DT^2 = CT^2 + CE^2 = CD^2 + DT^2 + CE^2$, adeóque $CX^2 = CD^2 + CE^2$. Q. e. 1.





Ex altero umbilico F, in tangentem demittatur perpendicularis FY, & junctis FP, S P, ſimilia erunt triangula F P Y, S P T, ob angulos æquales (per natur. Tangentium & focorum) F P Y, S P T, & S T P, F Y P rectos; & quoniam F P & C T, F Y & C D ſunt parallelæ, ſimilia quoque erunt triangula C T D, F P Y, ideòque duo triangula C T D, S P T ſunt ſimilia; quarè $CD : DT = ST (DX) : PT$, & diviſim $CD : DT = CD - DX : DT - PT$, & compoſitè $CD : DT = CD + DX : DT + PT$. Undè quoniam in Ellipſi $CD - DX = CX$, & $DT - PT = DP$; in hyperbolâ verò $CD + DX = CX$, & $DT + PT = DP$, erit in utrâque ſectione $CD : DT = CX : DP$. Verùm ob S X tangenti D T parallelam, $CD : DT = CX : XN$, ergo $XN = DP$. Q. e. 2.

343. Hinc datis centro C, ſemiaxe minùs principali C E, tangentibus duabus non

non parallelis, D Q, R Q, trajectoria Elliptica & Hyperbolica deſcribitur. Nam ex centro C, ad tangentes demittantur perpendicula C D, C R, & capiantur C X, C L, ità ut $CX^2 = CD^2 - CE^2$, $CL^2 = CR^2 - CE^2$, ſi deſcribenda ſit ellipſis; vel ità ut $CX^2 = CD^2 = CE^2$, & $CL^2 = CR^2 + CE^2$, ſi deſcribenda ſit hyperbola; & per X & L puncta, erigantur ad C D, C R perpendicula X S, L S concurrentia in S, erit S focus ex quo ſi ad tangentem alterutram D Q, demittatur normalis S T, juncta C T, erit ſemiaxis principalis.

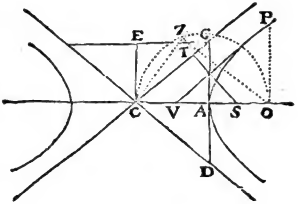
344. Datis centro C, ſemiaxe minùs principali C E, tangente P Q, & puncto contactûs P, ſectio conica deſcribitur. Nam ductâ X S, infinitâ ut ſuprà (343.) capiatur X N = D P & jungatur C N, producaturque donec tangenti occurrat in T, recta T S, tangenti normalis ſecabit rectam X S in umbilico S, eritque C T ſemiaxis principalis.

345. Dato centro cum tangente & alterutro axe datur poſitio rectæ per umbilicum tranſeuntis; undè ſi prætereà detur punctum extrà tangentem, facile erit umbilicum invenire. Eâdem ferè methodo quâ ſuperiora Lemmata demonſtravimus, *Hermannus* in Tom. IV. Academiæ Petropolitanæ ſolvit problema de Ellipſi Conicâ, cujus axis alteruter datus eſt, angulo poſitione & magnitudine dato ità inſcribendâ ut centrum ejus intrà datum angulum ſit etiam poſitione datum.

346. Datis aſymptotis, dantur hyperbolæ centrum ſeu aſymptotorum concurſus; 2°. datur poſitio axium qui aſymptotorum angulos deinceps poſitos biſariam dividunt, 3°. datur eorum axium ratio, ſunt enim ſicut Sinus dimidiorum illorum angulorum CGA, A C G ideóque datis aſymptotis cum puncto vel tangente, hyperbola deſcribi poteſt (*per prop. 4. & 9am. lib. 2. Conic. Apoll.*) Scilicet per punctum P ducatur P O perpendicularis in axem & P V Aſymptoto Parallela & deſcripto circulo ſuper Diametrum C O in eo ſecetur chorda O Z = O V, & ſumatur C A = C Z & erit A Vertex Hyperbolæ. Nam ſit *a* verus Hyperbolæ Vertex, ſit C *a* ſemi axis major & *a g* ſemi axis minor, erit $Ca^2 : ag^2 = CO^2 - Ca^2 : PO^2$ (*per nat. Hyp. vid. Theor. 2. de Hyp. p. 122. & Cor. I. Lem. 3. de Conicis p. 118.*) ſed (per conſt.) eſt $Ca : ag = OV : PO$, ſive $Ca^2 : ag^2 = OV^2 : PO^2$ eſt ergo $OV^2 = CO^2 - Ca^2$, Rurſus (per conſtr.) eſt OV^2 ſive $OZ^2 = CO^2 - CZ^2$ ergo $CO^2 - Ca^2 = CO^2 - CZ^2$ & $Ca = CZ = CA$, ergo erit A vertex Hyperbolæ.

Si detur Tangens, producatur illa uſque ad utramque Aſymptoton ubi utrinque terminetur, ejus medium erit punctum contactûs, ſive punctum ad Hyperbolam pertinens, cujus ope axis major invenietur ut ſupra.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.



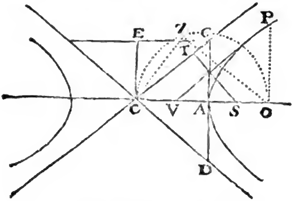
347. Datis aſymptotis & umbilico vel alterutro axe, facile eſt hyperbolam deſcribere. Sunto aſymptoti C G, C D concurrentes in C, S umbilicus, C A, C E ſemiaxes; ſi ex umbilico S, in aſymptotum quæ eſt tangens, demittatur perpendiculum S T, erit C T, æqualis ſemiaxi principali C A, (339) & S T æqualis ſemiaxi minùs principali C E ſeu G A, ob triangula C A G, C T S, ſimilia & æqualia propter latus C A æquale lateri C T, Quare dato præter aſymptotos ſemiaxe principali C T ſeu C A, datur umbilicus S, & contrà. Dato præter aſymptotos ſemiaxe minùs principali C E, ſeu G A, invenitur alter ſemiaxis C A, ſeu E G, rectæ C E normalis in E, & aſymptoto occurrens in G, & hinc reperitur umbilicus.

348. Aſymptotus data, ut notum eſt, in problematum ſolutione æquivalet tangenti datæ cum puncto contactûs ad diſtantiam infinitam poſito, atque adeò recta quævis ex puncto dato ad punctum contactûs aſymptoti ducta ipſi aſymptoto paral-

 leſa

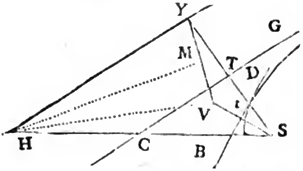
DE MOTU CORPORUM.

la eſt & poſitione data. Hinc facile erit problematum ſectionis IV. conſtructiones ad hyperbolam transferre ubi aſymptotus alterutra cum umbilico data eſt.

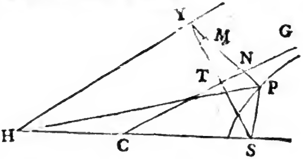


Datis umbilico S, axe principali, & aſymptoto C G, invenitur axis poſitio, demittendo ex umbilico S ad aſymptotum perpendicularem S T, & capiendo T C æqualem ſemiaxi dato, eſt enim C hyperbolæ centrum, C S axis principalis poſitio, T S ſemiaxis minùs principalis (348).

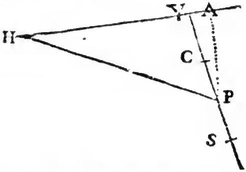
Datis umbilico & aſymptoto deſcribitur hyperbola ſpecie data, per conſtr. *Caſ.* 3. *Prop.* XIX. vel brevius, obſervando datam eſſe T S ſemiaxem minus principalem, undè ob datam axium rationem, dabitur centrum & axium poſitio cum alterâ aſymptoto, & hyperbola deſcribitur (348).



Datis aſymptoto, umbilico & tangente; invenitur umbilicus alter ac proindè axis tranſverſi poſitio & centrum. Sit enim aſymptotus data C G, umbilicus S, tangens B D, ex umbilico S, ad aſymptotum & tangentem, demittantur perpendicula S T; S t, & producantur ad Y & V ut ſint T Y = S T, t V = S t; per punctum Y, agatur Y H, aſymptoto parallela, & juncta Y V, biſecetur in M, perpendiculo M H; perpendiculi hujus & rectæ Y H communis interſectio H, eſt umbilicus alter, recta enim H Y, aſymptoto parallela tranſit per punctum contactûs aſymptoti, adeóque ob T Y = T S, tranſit etiam per umbilicum H; Porrò rectæ Y H, V H, per umbilicum H, ductæ ſunt æquales axi principali hyperbolæ *per Lem.* XV., & ideò æquales inter ſe; quarè perpendiculum H M, ex umbilico H in rectam Y V, demiſſum eam in M biſecat.



Datis aſymptoto C G, puncto P, & umbilico S, invenitur umbilicus alter H, demiſſo ad aſymptotum perpendiculo S T, & ſumptâ T Y = S T, actâque Y H aſymptoto parallelâ jungatur Y P, & in eâ capiatur M N = S P, & ità locetur ut ſit Y M = P N, hyperbola umbilicis Y, P, & axe principali M N, deſcripta, rectam Y H ſecabit in altero umbilico H quæſito. Nam P S ſeu M N eſt rectarum H Y, H P differentia, quæ ſemper æqualis eſt axi principali H Y.

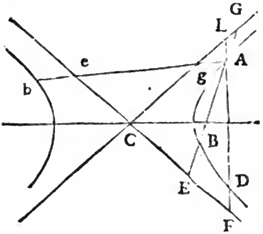


Aliter. Huc redit problema, datis in triangulo H Y P latere P Y, angulo Y, & laterum H Y, H P differentia P S, invenire

Digitized by Google

venire latera. Ex puncto P, in HY, demittatur perpendicularis PA, capiatur laterum HP, HY, differentia $PC = PS$, & ſumatur YH ad CY, ut eſt YS ad $SC \mp 2YA$, ſcribendo $-2YA$, ſi angulus HYP eſt obtuſus, & $+2YA$, ſi acutus, & delendo $\mp YA$, ſi fuerit rectus, erit H punctum quæſitum, facilis eſt demonſtratio ob angulum rectum A.

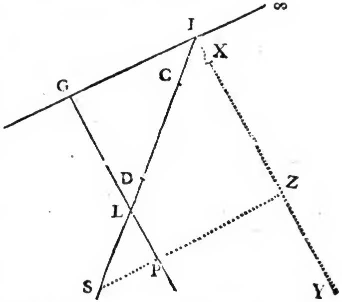
Sectionis V^æ. problemata, ubi aſymptotus alterutra data eſt, ad ſequentia revocantur.



349. Datâ aſymptoto CG, cum tribus punctis A, D, B, vel b, hyperbolam deſcribere. Per punctum quodvis A, datum & alia duo D, B, vel b, agantur lineæ infinitæ AD, AB vel Ab, aſymptoto datæ occurrentes in L & G, vel g; tum capiantur $FD = AL$, $BE = GA$, vel $be = gA$, juncta FE, aut Fe, erit aſymptotus altera (*per prop. 8^am. lib. 2. Conic. Apoll. per Lem.* I. de *Conic.* p. 115.) quare (346.) hyperbola deſcribitur, cum facilè inveniri poſſint quinque ſectionis puncta, per angulos mobiles organicè poteſt deſcribi.

350. Datis aſymptoto GI, tangente GL, punctiſque duobus C, D, Hyperbolam deſcribere, conſtructio & demonſtratio eædem ferè ſunt ac problematis (XVI.).

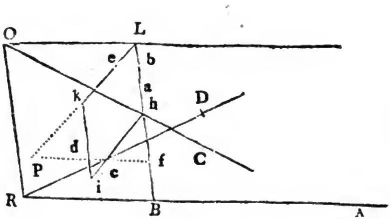
Per puncta duo data C, D, age rectam infinitam CD, aſymptoto & tangenti occurrentem in punctis I, L, actam ita ſeca in S, ut ſit IS ad LS, ut eſt media proportionalis inter CI & ID ad mediam proportionalem inter CL & LD, deinde age SP aſymptoto GI parallelam, hæc ſecabit tangentem GL, in puncto contactûs P; nam ſi P ſupponatur eſſe punctum contactûs, & per punctum I agatur IY tangenti GL parallela quæ occurrat hyperbolæ



in X & Y, & in eâ ſumatur IZ, media proportionalis inter IX & IY erit (*per prop.* 3. & 10. lib. 2. *Conic. Apoll.*) $IX \times IY$ ſive $IZ^2 = PG^2$, ſit enim ∞ punctum contactus Hyperpolæ & Aſymptoti erit $\infty I^2 : \infty G^2 = IX \times IY : PG^2$ (*per Cor.* 2. *Lem.* III. de *Conic.* p. 118.) ſed cùm ∞ I & ∞ G ſint lineæ infinitæ quantitate finitâ GI differentes, pro æqualibus habentur, ergo etiam $IX \times IY$ ſive $IZ^2 = PG^2$, atque adeò $IZ = PG$, & conſequenter juncta PZ, parallela eſt aſymptoto GI; recta ZP producta ſecet rectam IL, in puncto aliquo S, & ob ſimilia triangula SIZ, SLP, erit $IZ^2 : LP^2 = IS^2 : LS^2$; verùm (*vid. Not. ad probl.* XVI. aut *Lem.* III. de *Conic.* p. 117.) $XI \times IY$ $(IZ^2) : LP^2 = CI \times ID : CL \times LD$; ergò $IS^2 : LS^2 = CI \times ID : CL \times LD$, quare ſi recta IL ita ſecetur in S, ut ſit $IS^2 : LS^2 = CI \times ID : CL \times LD$, & agatur SP, aſymptoto GI parallela, erit P punctum contactus. Datis autem tribus punctis C, P, D, Hyperbola deſcribitur (349.)

351.

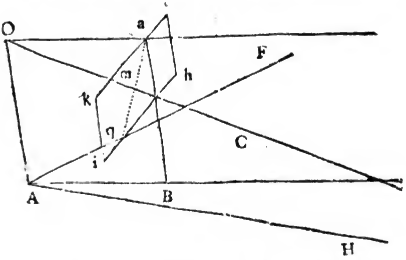
Digitized by Google



351. Datis aſymptoto O L, duabus tangentibus O C, R D, & puncto A, Hyperbolam deſcribere; (ſolutio facilè deducitur ex problemate XVII).

Per concurſum O aſymptoti O L cum tangente O C, & concurſum R tangentis alterius R D cum rectâ R A quæ per punctum datum A & punctum contactûs aſymptoti tranſit, ſeu quæ eſt aſymptoto parallela; age rectam infinitam O R, eâque adhibitâ pro radio ordinato primo, O L verò pro radio ordinato novo uſurpatâ, ſumptiſque ordinatis novis aſymptoto parallelis (ad majorem conſtructionis facilitatem), tranſmutetur figura per *Lem.* XXII. in figuram novam, nimirùm linea B A in lineam B a, (330), punctum A in a, linea R D in i k ipſi B L parallelam (329) O C in i h, O L in k L ipſi i h parallelam (327) & punctum contactûs aſymptoti infinitè diſtans transferetur in L; Nam punctum contactûs aſymptoti eſt communis interſectio Linearum R A, O L infinitarum, & ideò transfertur in L communem interſectionem rectarum k L, B L parallelogrammi h i k L; Tria ergo latera h i, i k, k L tangunt novam ſectionem conicam quæ tranſire debet per punctum a, dicantur c & d puncta contactuum linearum h i, i k, ſic invenietur punctum c, ſumatur Radix quadrata facti $hL \times ha$ & addatur lineæ i k, illa ſumma erit ad duplum lineæ h i ut ea ipſa Radix quadrata ad portionem h c. Hoc eſt $ik + \sqrt{hL \times ha} : 2hi = \sqrt{hL \times ha} : hc$. Nam (*per Cor.* 2. & 3. *Lem. III. de Conic.* p. 118.) eſt $dk^2 : kL^2 = di^2 : ic^2 = hL \times ha : hc^2$ inde eſt $dk : kL = di : ic = \sqrt{hL \times ha} : hc$, & ſumendo ſummam Antec. & Conſeq. eſt $dK + di + \sqrt{hL \times ha} : KL + ic + hc$ ſive $ik + \sqrt{hL \times ha} : kL + hi\ (2hi) = \sqrt{hL \times ha} : hc$: Invento autem puncto c invenitur punctum d, ſi quidem eſt $di : ic = \sqrt{hL \times ha} : hc$: Conſtruitur autem hæc ſolutio capiendo h f, æqualem mediæ proportionali inter L h & a h, & productâ L k ad P, ut ſit $kP = kL$, agendo per f & P rectam f P, illa f P latera h i, i k ſecabit in punctis quæſitis c, d; nam ob parallelas c h, P L & i k, f L eſt $Lf\ (ik + \sqrt{ah \times hL}) : LP\ (2kL$ ſive $2ih) = hf(\sqrt{ah \times hL}) : hc$, & $hc : hf = ic : id$; per inverſas operationes *Lem.* XXII. (331), transferantur puncta c, d, in figuram primam, nimirum in C, D, & data erunt tria hyperbolæ puncta D, C, A, cum aſymptoto O L, quarè deſcribetur hyperbola (349).

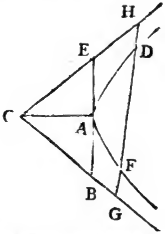
352. Dati



352. Datâ aſymptoto O a, & tribus tangentibus O C, A F, A H hyperbolam deſcribere, ſolvitur ut problema XVIII. Ab interſectione communi O aſymptoti O a, & tangentis O C, ad interſectionem communem A aliarum tangentium A F, A H agatur recta infinita O A, & eâdem pro radio ordinato primo adhibitâ, O a verò aſymptoti parte pro radio ordinato novo ſumptâ, tranſmutetur figura in figuram novam, nimirùm tangens O C & aſymptotus in parallelas i h, k l punctum contactûs aſymptoti in a, & duæ tangentes A F, A H in parallelas i k, h l, & parallelogrammi h l k i, latera ſingula novam ſectionem conicam tangunt, & quidem latus k l, in a, per a, & parallelogrammi centrum m, agatur a q, tangenti, i h, occurrens in q, & erit q, punctum alterum quo i h, novam ſectionem tangit. Per Lemmatis XXII. operationem inverſam transferatur hoc punctum in figuram primam, nempè in C, & erit C, punctum contactûs tangentis O C, quarè datis aſymptoto O a, duabus tangentibus A F, A H, & puncto C, deſcribetur hyperbola. (351.)

353. Datis aſymptoto, axium ratione, duobus punctis vel puncto & tangente aut binis tangentibus, hyperbolam deſcribere. Sunto hyperbolæ aſymptoti CE, C G, centrum C, vertex principalis A, ſemiaxis tranſverſus C A, ſemiaxis conjugatus A E ad C A, normalis; in triangulo rectangulo C A E datâ ratione crurum C A, A E, datur angulus E C A, eſt enim C A, ad E A; ut ſinus totus ad tangentem anguli E C A, quarè datâ ſpecie hyperbolæ ſeu axium ratione datur aſymptotorum angulus E C B, & viceverſâ dato aſymptotorum angulo datur ſpecie hyperbola; his poſitis problema facilè ſolvitur.

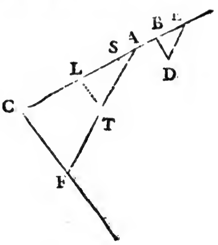
Caſ. 1. Data ſit aſymptotus C H, cum axium ratione ſeu aſymptotorum angulo & punctis duobus D, F, per puncta illa age rectam infinitam D F, aſymptoto datæ occurrentem in H, fac F G = H D, & per punctum G, age rectam infinitam G C, quæ cum aſymptoto C H, efficiat angulum HCG,



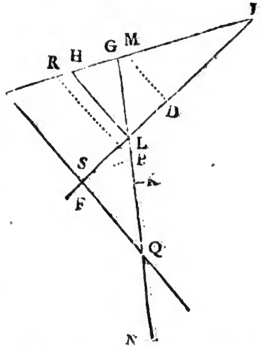
æqualem angulo aſymptotorum dato, erit C G, aſymptotus altera (*per prop. 8am. Lib. 2. conic. Apoll. ſive Lemma I. de Conic.*) quarè deſcribetur hyperbola (346.).

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

Caſ. 2. Data ſit aſymptotus C E, cum aſymptotorum angulo, puncto D, & tangente F A; per punctum D datum agantur recta B D, ad angulum D B E datum, ſeu æqualem aſymptotorum angulo, & D E tangenti F A parallela, capiantur B S æqualis mediæ proportionali inter B E & A E, & A C æqualis 2 S E, erit C hyperbolæ centrum, C F verò rectæ B D parallela aſymptotus altera. Nam ſit T punctum contactûs, C F aſymptotus altera, ductâ T L aſymptoto F C parallelâ, erit F T = T A (*per prop. 3am. Lib. 2. conic. apoll. ſup. Theor. I. de Hyp. p.* 122.) ac proinde L A = C L: Eſt autem ex naturâ hyperbolæ inter aſymptotos C L × L T, hoc eſt A L × L T = C B × B D, adeóque B D : L T = A L : C B. (2 A L + A B) & ob triangula ſimilia A L T, E B D, B D : L T = B E : A L; ergò B E : A L = A L : 2 A L + A B, ſed (per conſtr.) B E : B S = B S : B E + A B, & componendo B E : B S = S E : S E + A B, & B E : S E = S E : 2 S E + A B, eſt igitur A L = S E, & 2 A L ſeu A G = 2 S E.

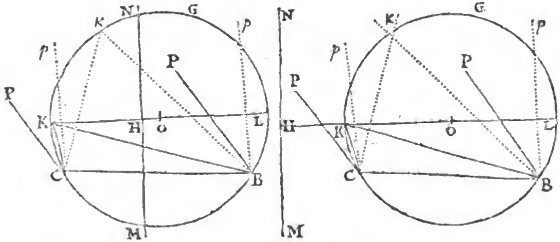


Caſ. 3. Data ſit aſymptotus G I, cum aſymptotorum angulo & duabus tangentibus F I, G Q ſe mutuò interſecantibus in L & aſymptotum in G & I; ex puncto L agatur ad aſymptotum G I recta L H, in angulo aſymptotorum dato L H G, producatur G L ad N, ut ſit L N ad H I, ut eſt G L ad G H, capianturque G K æqualis mediæ proportionali inter G L, & L N, & L P æqualis $\frac{1}{2}$ L K, erit P punctum contactûs tangentis G Q. Nam ſi ſupponamus P, D eſſe puncta contactuum, & C Q aſymptotum alteram tangenti G Q occurrentem in Q & alteri aſymptoto in C, & ex punctis D, P ductæ intelligantur rectæ D M, P R & P S, aſymptotis C I & C Q parallelæ ac D M, P R aſymptoto C I occurrant in M, R, P S verò tangenti F I in S, erit C R = R G, & C M = M I; & ob ſimilia triangula G L I, P L S, G L : L P = L I : L S, adeóque componendo G P : L P = I S : L S, ſed (323.) I S : L S = D I : L D; quare G P : L P = D I : L D, ac proindè G P + L P : G P = L I : D I. Porrò in triangulis ſimilibus I L H, I D M, $LI^2 : HI \times LH = DI^2 : DM \times MI$, & in triangulis ſimilibus G L H, G R P, $GH \times LH : GL^2 = GR \times RP : GP^2 = DM \times MI : GP^2$, ob $MI \times DM = CM \times DM = CR \times RP = GR \times RP$ ex naturâ hyperbolæ inter aſymptotos, quarè per compoſitionem rationum $LI^2 \times GH \times LH : GL^2 \times HI \times LH = DI^2 : GP^2 = LI^2 \times GH : GL^2 \times HI$. Verùm (per conſtruct:) $GH : HI = GL^2 : GL \times LN$, & $GK^2 = GL \times LN$, ac proindè $GH : HI = GL^2 : GK^2$, undè $DI^2 : GP^2 = LI^2 \times GL^2 : GL^2 \times GK^2 = LI^2 : GK^2$, & D I : G P = L I : G K, atque adeò L I : D I = G K : G P; ſed ſuprà invenimus G P + L P : G P = L I : D I, ergò G K : G P = G P + L P : G P, atque



ità

Poſtquam trajectoria deſcripta eſt, invenire licet axes & umbilicos ejus hâc methodo. In conſtructione & figurâ lemmatis XXI. fac ut angulorum mobilium *PBN*, *PCN* crura *BP*, *CP*, quorum concurſu trajectoria deſcribebatur, ſint ſibi invicem parallela, eumque ſervantia ſitum revolvantur circa polos ſuos *B*, *C* in figurâ illâ. Interea vero deſcribant altera angulorum illorum crura *CN*, *BN*, concurſu ſuo *K* vel *k*, circulum *BGKC*.

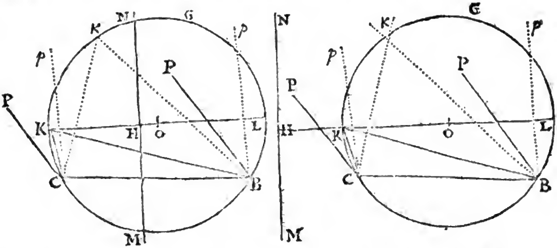


Sit circuli hujus centrum *O*. Ab hoc centro ad regulam *MN*, ad quam altera illa crura *CN*, *BN* interea concurrebant, dum trajectoria deſcribebatur, demitte normalem *OH* circulo occurrentem in *K* & *L*. Et ubi crura illa altera *CK*, *BK* concurrunt ad punctum illud *K* quod regulæ propius eſt, crura prima *CP*, *BP* parallela erunt axi majori, & perpendicularia minori; & contrarium eveniet, ſi crura eadem concurrunt ad punctum remotius *L*. Unde ſi detur trajectoriæ centrum, dabuntur axes. (d) Hiſce autem datis, umbilici ſunt in promptu.

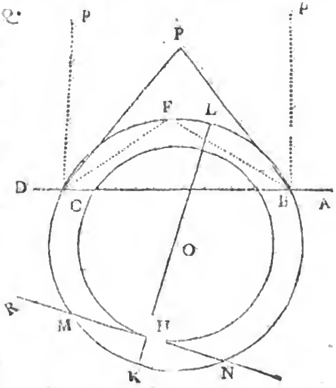
Axium

ità GK = GP + LP; ſeu GL + LK = GL + 2 LP, ac proinde LK = 2 LP, & LP = ½ LK; invento autem puncto contactûs P, ſi capiatur PQ = PG, & per punctum Q, agatur QC, ipſi LH parallela, erit QC altera aſymptotus, & hyperbola deſcribetur (346).

(d) * Vid. Not. 314.



(e) Axium vero quadrata ſunt ad invicem ut *KH* ad *LH*, & inde facile eſt trajectoriam (f) ſpecie datam per data quatuor puncta deſcribere. Nam ſi duo ex punctis datis conſtituantur poli



(e) * Vid. Not. 315.

(f) Sit deſcribenda trajectoria ſpecie data per puncta quatuor C, B, F, Q, duo puncta C, B, conſtituantur poli & junctis C P, B P erunt P C B, P B C anguli mobiles, fac ut angulorum illorum crura B P, C P ſint ſibi invicem parallela, nempè in poſitione quâvis B p, C p, & crura alia B C, C B ſe mutuò interſecent in F; & centro O deſcribe circulum per tria puncta C, F, B tranſeuntem cujuſque proindè ſegmentum C F B capit angulum C F B, centro O radio O H deſcribatur circulus, (punctum verò H, ita determinetur in Diametro K L, ut ſit K H ad L H ut ſunt ad invicem quadrata axium trajectoriæ). Tum crurum B P, C P concurſus adducatur ad punctum Q & intereà notetur punctum R ubi concurrunt alia crura C A, B D, & ex puncto R agatur recta R M N tangens circulum radio O H deſcriptum; *erit N M regula cujus ope trajectoria deſcribetur* (314).

Si

C, *B*, tertium dabit angulos mobiles, *PCK*, *PBK*; his autem datis deſcribi poteſt circulus *BGKC*. Tum ob datam ſpecie trajectoriam, dabitur ratio *OH* ad *OK*, ideoque ipſa *OH*. Centro *O* & intervallo *OH* deſcribe alium circulum, & recta, quæ tangit hunc circulum, & tranſit per concurſum crurum *CK*, *BK*, ubi crura prima *CP*, *BP* concurrunt ad quartum datum punctum, erit regula illa *MN* cujus ope trajectoria deſcribetur. (g) Unde etiam viciſſim trapezium ſpecie datum (ſi caſus quidam impoſſibiles excipiantur) in datâ quavis ſectione conicâ inſcribi poteſt.

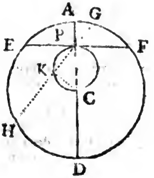
Sunt & alia lemmata quorum ope trajectoriæ ſpecie datæ, datis punctis & tangentibus, deſcribi poſſunt. (h) Ejus generis eſt quod, ſi recta linea per punctum quodvis poſitione datum ducatur, quæ datam coni ſectionem in punctis duobus interſecet, & interſectionum intervallum biſecetur, punctum biſectionis tanget aliam coni ſectionem ejuſdem ſpeciei cum priore, atque

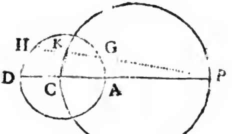
Si deſcribenda foret parabola, ducenda eſſet ex puncto R recta R N, circulum C K B tangens; nam in parabolâ punctum H, coincidit cum puncto K (313).

Quoniam autem ex puncto R, duæ tangentes ut R N duci poſſunt, patet duas trajectorias ſpecie datas per data quatuor puncta poſſe deſcribi.

(g) * Nam ſi deſcribatur trapezium quodvis ſpecie datum, & huic circumſcribatur ſectio conica datæ ſimilis Methodo in notâ præcedente expoſitâ, deindè in ſectione conicâ datâ quatuor agantur lineæ in eâ ſimiliter poſitæ ac quatuor trapezii latera in ſectione trapezio circumſcriptâ, habebitur trapezium ſpecie datum in datâ ſectione conicâ inſcriptum.

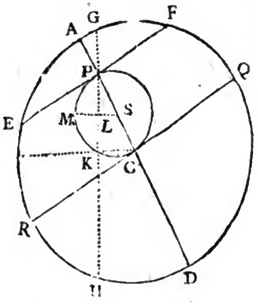
(h) * Hoc Lemma facilè demonſtratur in circulo. Intra vel extra circulum A F D E datum ſit punctum P per quod & per centrum circuli C agatur P D; tum diametro P C deſcribatur circulus P K C P, chorda quælibet G H per punctum P ducta, bifariam diviſa eſt in puncto K ubi circulo P K C occurrit; Nam junctâ K C, erit angulus C K P rectus ac proindè chorda H G biſecta in K.



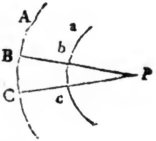


atque axes habentem prioris axibus parallelos. Sed propero ad magis utilia.

LEM.



* Idem Lemma pari facilitate in cæteris ſectionibus conicis demonſtratur. Datum ſit punctum P, per hoc & per centrum C ſectionis conicæ A F D E agatur diameter A D, tùm diametro P C, quæ ſimilis ſit diametro A D, deſcribatur alia ſectio conica P M K C, ejuſdem ſpeciei cum datâ, & diameter conjugata ipſius PC, ſimilis erit & parallela diametro R Q, conjugatæ ipſius A D, & quia in duabus figuris ſimilibus, ſi duo latera homologa parallela ſint, cætera omnia latera ſimilia ſunt etiam parallela, ambarum ſectionum conicarum ſimiles diametri omnes, adeóque & axes paralleli erunt, agatur nunc per punctum datum P, chorda quævis G P H, ſectioni P M C occurrens in K, dico eſſe K H = K G. Nam jungatur C K, & producatur donec trajectoriæ A H D occurrat in N, & per centrum S trajectoriæ P K C, agatur S M parallela C K, chordæ P K occurrens in L & ſectioni in M, erunt S M, N C diametri ſimiles, & earum ordinatæ parallelæ; ſed quia in triangulis ſimilibus P S L, P C K eſt P S = S C erit quoque P L = L K, ac proindè P L K erit ordinata ad diametrum S M, adeóque G K H erit ordinata ad diametrum N C; quare G K = K H *ergo punctum biſectionis K tanget curvam priori ſimilem & axes habentem prioris axibus parallelos.* Eadem eſt demonſtratio, ſi punctum P extra ſectionem ſumatur.

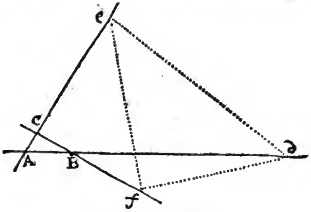


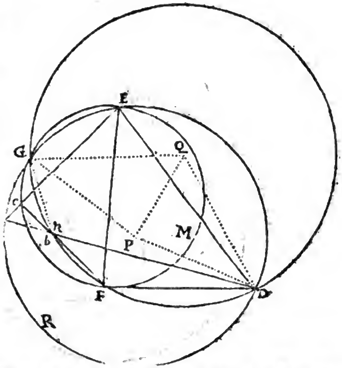
354. Adjungemus aliud Lemma maximè univerſale. Si ex puncto quovis P dato ducatur recta P B, curvæ cuilibet A B C occurrens in B, & recta illa P B ità dividatur in b, ut ſit ſemper P b ad P B in ratione datâ, punctum b, tanget curvam a b c ejuſdem ſpeciei & ordinis cum curvâ ABC, atque lineas habentem ſimilibus curvæ ABC lineis parallelas. Nam ſi fuerit A B C polygonum rectilineum cujus latus unum B C, cùm ſit (*per hyp.*) P b : P B = P c : PC, ſimilia erunt triangula P B C, P b c, & latera B C, b c, parallela & in datâ ratione P B, ad P b, ac proindè totum polygonum A B C ſimile polygono a b c, & eorum latera homologa parallela erunt. Laterum polygoni A B C numerus augeatur in infinitum & ipſorum longitudo in infinitum minuatur & duo polygona A B C, a b c mutabuntur in curvas ſimiles in quibus latera homologa ſunt parallela.

Digitized by Google

LEMMA XXVI.

Trianguli ſpecie & magnitudine dati tres angulos ad rectas totidem poſitione datas, quæ non ſunt omnes parallelæ, ſingulos ad ſingulas ponere.

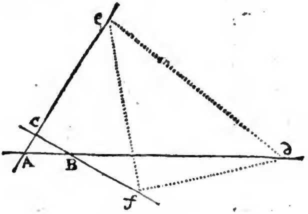


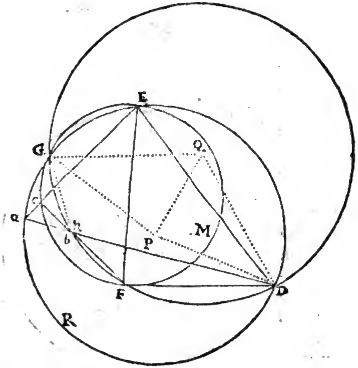


Dantur poſitione tres rectæ infinitæ *AB*, *AC*, *BC*, & oportet triangulum *DEF* ita locare, ut angulus ejus *D* lineam *AB*, angulus *E* lineam *AC*, & angulus *F* lineam *BC* tangat. Super *DE*, *DF* & *EF*, deſcribe tria circulorum ſegmenta *DRE*, *DGF*, *EMF*, quæ capiant angulos angulis *BAC*, *ABC*, *ACB* æquales reſpectivè. Deſcribantur autem hæc ſegmenta ad eas partes linearum *DE*, *DF*, *EF*, ut literæ *DRED* eodem ordine cum literis *BACB*, literæ *DGFD* eodem cum literis *ABCA*, & literæ *EMFE* eodem cum literis *ACBA* in orbem redeant; deinde compleantur hæc ſegmenta in circulos integros. Secent circuli duo priores ſe mutuo in *G*, ſintque centra eorum *P* & *Q*. Junctis *GP*, *PQ*, cape *Ga* ad *AB* ut eſt *GP* ad *PQ*, & centro *G*, intervallo *Ga* deſcribe circulum, qui ſecet circulum primum *DGE* in *a*. Jungatur tum *aD* ſecans circulum ſecundum *DFG* in *b*, tam *aE*

ſeçans

ſecans circulum tertium *EMF* in *c*. Et jam licet figuram *ABCdef* conſtituere ſimilem & æqualem figuræ *abcDEF*. Quo facto perficitur problema.





Agatur enim* *Fc* ipſi *aD* occurrens in *n*, & jungantur *aG*, *bG*, *QG*, *QD*, *PD*. Ex conſtructione eſt angulus *EaD* æqualis angulo *CAB*, & (i) angulus *acF* æqualis angulo *ACB*,

(i) * *Angulus acF æqualis angulo ACB*, nam angulus FcE eſt anguli acF atque etiam anguli in ſegmento EMF complementum ad duos rectos, quare angulus acF, eſt æqualis angulo quem capit ſegmentum EMF, hic autem angulus æqualis eſt angulo ACB (per conſtr.)

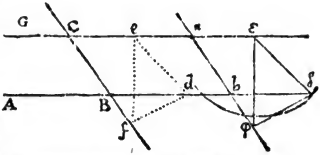
Digitized by Google

ideoque triangulum *a n c* triangulo *A B C* æquiangulum. Ergo angulus *anc* ſeu *FnD* angulo *ABC*, ideoque angulo *FbD* æqualis eſt; & propterea punctum *n* incidit in punctum *b*. Porro angulus *G P Q*, (k) qui dimidius eſt anguli ad centrum *G P D*, æqualis eſt angulo ad circumferentiam *G a D*; & angulus *G Q P*, qui dimidius eſt anguli ad centrum *G Q D*, æqualis eſt complemento ad duos rectos anguli ad circumferentiam *G b D*, ideoque æqualis angulo *G b a*; ſuntque ideo triangula *G P Q*, *G a b* ſimilia; & *G a* eſt ad *ab* ut *GP* ad *P Q*; id eſt (ex conſtructione) ut *G a* ad *AB*. Æquantur itaque *ab* & *AB*; & propterea triangula *a b c*, *ABC*, quæ modo ſimilia eſſe probavimus, ſunt etiam æqualia. Unde cum tangant inſuper trianguli *D E F* anguli *D*, *E*, *F* trianguli *a b c* latera *a b*, *a c*, *b c* reſpectivè, compleri poteſt figura *A B C d e f* figuræ *a b c D E F* ſimilis & æqualis, atque eam complendo ſolvetur problema. *Q. E. F.*

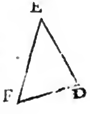
Corol. Hinc recta duci poteſt cujus partes longitudine datæ rectis tribus poſitione datis interjacebunt. Concipe triangulum *D E F*, puncto *D* ad latus *E F* accedente, & lateribus *D E*, *D F* in directum poſitis, mutari in lineam rectam, cujus pars data *D E* rectis poſitione datis *A B*, *A C*, & pars data *D F* rectis poſitione datis *A B*, *A C*, interponi debet; &

(k) * Angulus G P Q dimidius eſt anguli ad centrum G P D, recta enim P Q, quæ circulorum D R G D, D G F D centra jungit, perpendicularis eſt ad rectam G D, quæ puncta interſectionum circulorum jungeret adeóque angulum G P D biſecat.

355. Si trium rectarum G C, A B, C B poſitione datarum duæ G C, A B ſint parallelæ & oporteat triangulum datum D E F ità locare ut angulus ejus D lineam A B, angulus E lineam G C, & angulus F lineam B C tangat, centro quovis ε in lineâ G C, ad arbitrium ſumpto & radio ε δ, æquali E D, deſcribatur circulus rectæ A B, occurrens in δ; ſuper baſi ε δ conſtruatur triangulum ε δ φ ſimile & æquale triangulo dato E D F, & ex angulo illius φ agatur φ α rectæ E C parallela ſecans G C in α, & A B in b,



& compleatur figura C B f d e ſimilis & æqualis figuræ α b φ δ ε, patet factum. Si recta E D minor ſi parallelarum G C, A B diſtantiâ, problema impoſſibile eſt; ſi major fuerit circulus radio ε δ, deſcriptus, rectam A B in duobus punctis ſecabit, & duæ erunt rectæ ε δ poſitiones.

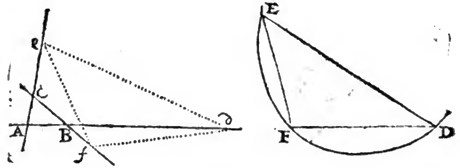


& applicando conſtructionem præcedentem ad hunc caſum ſolvetur problema.

PROPOSITIO XXVIII. PROBLEMA XX.

Trajectoriam ſpecie & magnitudine datam deſcribere, cujus partes datæ rectis tribus poſitione datis interjacebunt.

Deſcribenda ſit trajectoria, quæ ſit ſimilis & æqualis lineæ curvæ *DEF*, quæque à rectis tribus *AB*, *AC*, *BC* poſitione



datis, in partes datis hujus partibus *DE* & *EF* ſimiles & æquales ſecabitur.

Age rectas *DE*, *EF*, *DF*, & trianguli hujus *DEF* pone angulos *D*, *E*, *F* ad rectas illas poſitione datas (*per lem.* XXVI.) (1) dein circa triangulum deſcribe trajectoriam curvæ *DEF* ſimilem & æqualem. *Q. E. F.*

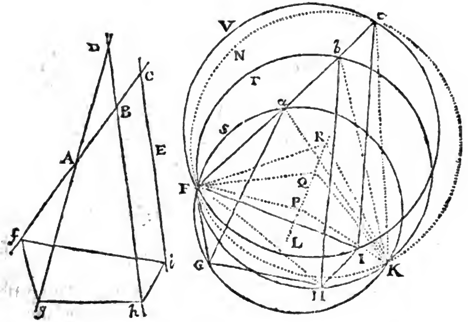
LEM-

(1) * Si enim data ſit curvæ D E F, triangulo dato E F D circumſcripta, dabitur diametrorum & axium ejuſdem curvæ poſitio ad trianguli E F D latera, & hinc habebitur poſitio diametrorum & axium curvæ ſimilis & æqualis circà triangulum e f d deſcribendæ.

LEMMA XXVII.

Trapezium ſpecie datum deſcribere, cujus anguli ad rectas quatuor poſitione datas, quæ neque omnes parallelæ ſunt, neque ad commune punctum convergunt, ſinguli ad ſingulas conſiſtent.

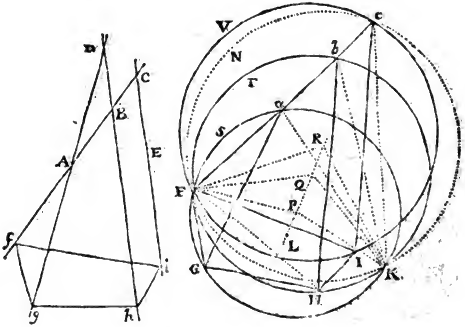
Dentur poſitione rectæ quatuor ABC, AD, BD, CE; quarum prima ſecet ſecundam in A, tertiam in B, & quartam in C: & deſcribendum ſit trapezium $fhgi$, quod ſit trapezio $FGHI$ ſimile; & cujus angulus f, angulo dato F æqualis, tan-



gat rectam ABC; cæterique anguli g, h, i, cæteris angulis datis G, H, I æquales, tangant cæteras lineas AD, BD, CE reſpectivè. Jungatur FH & ſuper FG, FH, FI deſcribantur totidem circulorum ſegmenta FSG, FTH, FVI; quorum primum FSG capiat angulum æqualem angulo BAD, ſecundum FTH capiat angulum æqualem angulo CBD, ac tertium

Digitized by Google

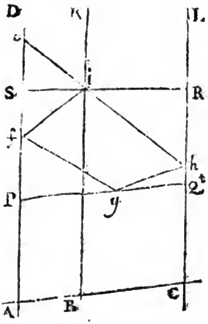
tium *FVI* capiat angulum æqualem angulo *ACE*. Deſcribi autem debent ſegmenta ad eas partes linearum *FG*, *FH*, *FI*, ut literarum *FSGF* idem ſit ordo circularis qui literarum *BADB*, utque literæ *FTHF* eodem ordine cum literis *CBDC*, & literæ *FVIF* eodem cum literis *ACEA* in orbem redeant. Compleantur ſegmenta in circulos integros; ſitque *P* centrum circuli primi *FSG*, & *Q* centrum ſecundi *FTH*. Jungatur & utrinque producatur *PQ*, & in eâ capiatur *QR* in eâ ratione

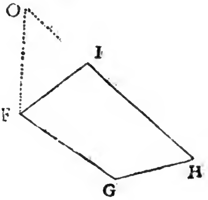


ad *PQ* quam habet *BC* ad *AB*. Capiatur autem *QR* ad eas partes puncti *Q* ut literarum *P*, *Q*, *R* idem ſit ordo atque literarum *A*, *B*, *C*, centroque *R* & intervallo *RF* deſcribatur circulus quartus *FNc* ſecans circulum tertium *FVI* in *c*. Jungatur *Fc* ſecans circulum primum in *a*, & ſecundum in *b*. Agantur *aG*, *bH*, *cI*, & figuræ *abcFGHI* ſimilis conſtitui poteſt figura *ABCfghi*. Quo facto erit trapezium *fghi* illud ipſum, quod conſtituere oportebat.

Secent enim circuli duo primi *FSG*, *FTH* ſe mutuo in *K*. Jungantur *PK*, *QK*, *RK*, *aK*, *bK*, *cK*, & producatur *QP* ad *L*. Anguli ad circumferentias *FaK*, *FbK*, *FcK* ſunt ſemiſſes.

miſſes angulorum *FPK*, *FQK*, *FRK* ad centra, ideoque angulorum illorum dimidiis *LPK*, *LQK*, *LRK* æquales. (m) Eſt ergo figura *PQRK* figuræ *abcK* æquiangula & ſimilis, & propterea *ab* eſt ad *bc* ut *PQ* ad *QR*, id eſt, ut *AB* ad *BC*. Angulis inſuper *FaG*, *FbH*, *FcI* æquantur *fAg*, *fBh*, *fCi* per conſtructionem. Ergo figuræ *abcFGHI* figura ſimilis *ABCfghi* compleri poteſt. Quo facto trapezium *fghi* conſtituetur ſimile trapezio *FGHI*, & angulis ſuis *f*, *g*, *h*, *i* tanget rectas *ABC*, *AD*, *BD*, *CE*. *Q.E.F.*





(m)* Eſt enim angulus K a b = K P R, angulus K b a = K Q P, ac proindè triangulum a K b, ſimile triangulo P Q K, & ſimiliter patet triangulum b K c, eſſe ſimile triangulo Q K R, adeóque totam figuram a b c K, ſimilem eſſe figuræ P Q R K.

* Si ex quatuor rectis poſitione datis duæ vel tres fuerint parallelæ manet eadem conſtructio. Poteſt tamen hæc alia adhiberi quæ etiam valet, ubi quatuor ſunt parallelæ. Datæ ſint tres parallelæ A D, B K, C L quas quarta A C in A, B, C ſecat & oporteat deſcribere trapezium ſimile trapezio F I H G & cujus anguli angulis F, I, H, G æquales, rectas A D, B K, C L, A C, tangant per punctum quodvis i, rectæ B K, agatur S i R, parallelis A D, B K, C L normalis, iiſque occurrens in S, & R, producatur H I, ad O, ut ſit H I ad I O ut eſt R i ad i S junganturque F O; tum ex puncto i, agatur i f, parallelam A D ſecans in f, ità ut ſit angulus f i B ſeu i f D, æqualis angulo I F O, & ſuper latere f i, ſimili F I conſtruatur trapezium f i h g ſimile trapezio F I H G, ac per angulum g agatur recta P Q ipſi A C parallela, & tandem ſuper rectâ A C, conſtruatur figura ſimilis figuræ P Q h i f g. Dico factum.

Demonſtrandum eſt angulum h eſſe in parallelâ C L; ſi punctum h, non eſt in lineâ C L producatur i h donec rectæ C L occurrant in t, & producatur t i, donec occurrat rectæ A D in o & erit H I : I O = h i : i o = R i : i S, ob figuras o i f h, O I F H, (per conſtr.) ſimiles; ſed ob ſimilia triangula t i R, o i S, t i : i o = R i : i S, ergò h i : i o = t i : i o, atque adeò h i = t i; quarè punctum t, cum h, coincidit.

Co-

Corol. Hinc recta duci poteſt cujus partes, rectis quatuor poſitione datis dato ordine interjectæ, datam habebunt proportionem ad invicem. Augeantur anguli FGH, GHI uſque eo, ut rectæ, FG, GH, HI in directum jaceant, & in hoc caſu conſtruendo problema ducetur recta $fghi$, cujus partes fg, gh, hi, rectis quatuor poſitione datis AB & AD, AD & BD, BD & CE interjectæ, erunt ad invicem ut lineæ FG, GH, HI, eundemque ſervabunt ordinem inter ſe. Idem verò ſic ſit expeditius.

Producantur AB ad K, & BD ad L, ut ſit BK ad AB ut HI ad GH; & DL ad BD ut GI ad FG; & jungatur KL occurrens rectæ CE in i. Producatur iL ad M, ut ſit LM ad iL ut GH ad HI, & agatur tum MQ ipſi LB parallela, rectæque AD occurrens in g, tum gi ſecans AB, BD in f, h. Dico factum.

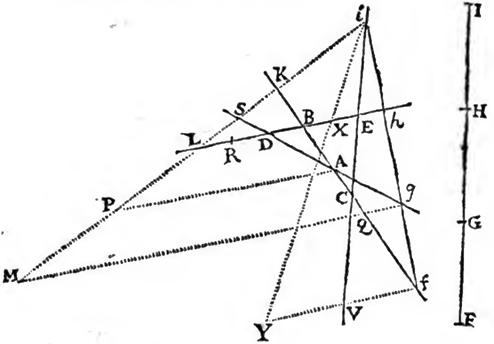
Secet enim Mg rectam AB in Q, & AD rectam KL in S, & agatur AP quæ ſit ipſi BD parallela & occurrat iL in P, & erunt gM ad Lh (gi ad hi, (n) Mi ad Li, GI ad HI, AK ad BK) & AP ad BL in eâdem ratione. Secetur DL in R ut ſit DL ad RL in eâdem illâ ratione, & ob proportionales gS ad gM, AS ad AP, & DS ad DL; erit, (o) ex æquo, ut gS ad Lh ita AS ad BL & DS ad RL; & mixtim, $BL-RL$ ad $Lh-BL$ ut $AS-DS$ ad $gS-AS$. Id eſt BR ad Bh ut AD ad Ag, ideoque ut BD ad gQ. Et viciſſim BR ad BD ut Bh ad gQ, ſeu fh ad fg. Sed ex conſtructione linea BL eâdem ratione ſecta fuit in D & R atque linea FI in G & H: ideoque eſt BR ad BD ut FH ad FG. Ergo fh eſt ad fg ut FH ad FG. Cum igitur ſit etiam gi ad hi ut Mi ad Li, id eſt, ut GI ad HI, patet lineas FI, fi in g & h, G & H ſimiliter ſectas eſſe. *Q. E. F.*

In

(n) * Nam (per conſtr.) $LM:iL = GH:HI = AB:BK$, ac proindè componendo conſequentes cum antecedentibus $Mi:Li = GI:HI = AK:BK = AP:BL$ ob parallelas.

(o) * Quoniam enim
$gM:Lh = AP:BL = DL:RL$
& $gS:gM = AS:AP = DS:DL$
patet eſſe $gS:Lh = AS:BL = DS:RL$; & conſequenter $gS - AS : Lh - BL = AS - DS : BL - RL = gS : Lh$; undè invertendo permutando & alternando $BL - RL : Lh - BL = AS - DS : gS - AS$ id eſt $BR:Bh = AD:Ag = BD:gQ$, ob ſimilia triangula ADB, AgQ.

Digitized by Google



In conſtructione corollarii hujus poſtquam ducitur *LK* ſecans *CE* in *i*, producere licet *iE* ad *V*, ut ſit *EV* ad *Ei* ut *FH* ad *HI*, & (p) agere *Vf* parallelam ipſi *BD*. (q) Eodem recidit ſi centro *i*, intervallo *IH*, deſcribatur circulus ſecans *BD* in *X*, & producatur *iX* ad *Y*, ut ſit *iY* æqualis *IF*, & agatur *Yf* ipſi *BD* parallela.

Problematis hujus ſolutiones alias *Wrennus* & *Walliſius* olim excogitarunt.

PRO-

(p) * Si enim ex puncto f; per ſuperiorem conſtructionem invento agatur f V parallela B D & lineæ i E productæ occurrens in V, erit ob ſimilia triangula i E h, i V f, E V : E i = f h : h i, ſed ex ſuprà demonſtratis f h : h i = F H : H I, ergò E V : E i = F H : H I.

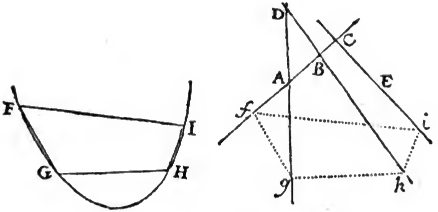
(q) * Nam ſi ex puncto f, ut ſuprà invento agatur f Y, ipſi B D, parallela & rectæ i X, productæ occurrens in Y, erit ob ſimilia triangula i X h, i Y f, i h : h f = i X : X Y = I H : H F. Undè cum ſit i X = I H (*ex hyp.*) erit X Y = H F.

Digitized by Google

PROPOSITIO XXIX. PROBLEMA XXI.

Trajectoriam ſpecie datam deſcribere, quæ à rectis quatuor poſitione datis in partes ſecabitur, ordine, ſpecie & proportione datas.

Deſcribenda ſit trajectoria, quæ ſimilis ſit lineæ curvæ *FGHI*, & cujus partes, illius partibus *FG*, *GH*, *HI* ſimiles & proportionales, rectis *AB* & *AD*, *AD* & *BD*, *BD* & *CE* poſitione datis, prima primis, ſecunda ſecundis, tertia tertiis interjaceant. Actis rectis *FG*, *GH*, *HI*, *FI* deſcribatur (*per*



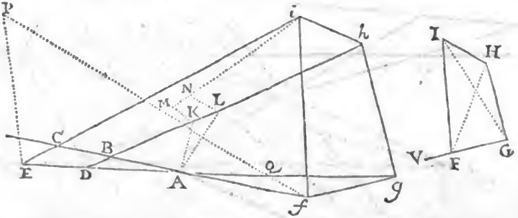
lem. XXVII.) Trapezium *fghi*, quod ſit trapezio *FGHI* ſimile, & cujus anguli *f*, *g*, *h*, *i* tangant rectas illas poſitione datas *AB*, *AD*, *BD*, *CE*, ſinguli ſingulas dicto ordine. Dein circa hoc trapezium deſcribatur trajectoria curvæ lineæ *FGHI* conſimilis.

Scholium.

Conſtrui etiam poteſt hoc problema ut ſequitur. Junctis *FG*, *GH*, *HI*, *FI* produc *GF* ad *V*, jungeque *FH*, *IG*, & angulis *FGH*, *VFH* fac angulos *CAK*, *DAL* æquales. Concurrant *AK*, *AL* cum recta *BD* in *K* & *L*, & inde agantur *KM*, *LN*, quarum *KM* conſtituat angulum *AKM* æqualem angulo *GHI*, ſitque ad *AK* ut eſt *HI* ad *GH*; & *LN* conſtituat angulum *ALN* æqualem angulo *FHI*, ſitque ad *AL*

Digitized by Google

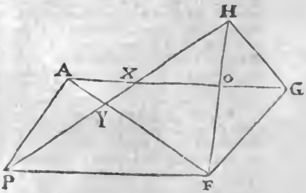
AL ut *HI* ad *FH*. Ducantur autem *AK*, *KM*, *AL*, *LN* ad eas partes linearum *AD*, *AK*, *AL*, ut literæ *CAKMC*, *ALKA*, *DALND*, eodem ordine cum literis *FGHIF* in orbem redeant; & acta *MN* occurrat rectæ *CE* in *i*. Fac angulum *iEP* æqualem angulo *IGF*, ſitque *PE* ad *Ei* ut *FG* ad *GI*; & per *P* agatur *PQf*, quæ cum rectâ *ADE* contineat angulum *PQE* æqualem angulo *FIG*, rectæque *AB* occurrat



in *f*, & jungatur *fi*. Agantur autem *PE* & *PQ* ad eas partes linearum *CE*, *PE*, ut literarum *PEiP* & *PEQP* idem ſit ordo circularis qui literarum *FGHIF*; & ſi ſuper lineâ *fi* eodem quoque literarum ordine conſtituatur trapezium *fghi* trapezio *FGHI* ſimile, & circumſcribatur trajectoria ſpecie data, ſolvetur problema. (r) Hac-

(r) Hæc nova conſtructio hoc præmiſſo Lemmate demonſtratur.

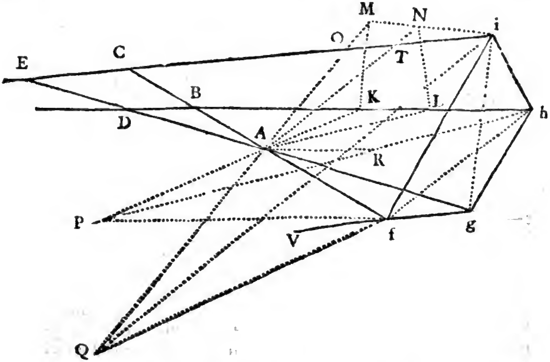
Lemma. Si ex puncto A extrà triangulum F G H dato, agatur ad angulum F recta A F, & ad angulum G recta A G, ſecans latus oppoſitum H F in O, & ſuper rectam A F, conſtituatur triangulum F A P, ſimile triangulo F G H, jungaturque P H ſecans A G in X, & A F in Y, ſimilia erunt triangula P H F, A G F, & anguli H X G, H F G æquales; quoniam enim anguli A F P, H F G ſunt æquales (*per hyp.*) æquales quoque erunt anguli P F H, A F G; & quoniam duo triangula P F A, H F G, ſimilia ſunt (*per hyp.*) erit PF : AF = HF : FG, adeóque triangula A F G, P F H, quorum latera proportionalia æqualem angulum continent ſunt ſimilia, & hinc anguli H P F, G A F æquantur; cumque anguli oppoſiti



P Y F, A Y X, ſint etiam æquales, liquet angulum A X Y ſive H X G, æqualem eſſe angulo A F P = H F G. Q. e. D.

Hactenus de orbibus inveniendis. Supereſt ut motus corporum in orbibus inventis determinemus.

S E C-



357. Hoc itaque poſito, demonſtratur Newtoniana conſtructio. Trapezii f g h i, anguli quatuor tangant rectas C i, B h, A g, A f. Super rectà A f, conſtruantur triangula f A P, f A Q, triangulis f g h, f g i, ſimilia; jungantur P h, Q i, & latera P A, Q A, producantur, ut rectis B h, C i, occurrant in K, & O; erunt anguli B A K, B A O, æquales angulis datis f g h, f g i; agantur A L, A T, rectis P h, Q i parallelæ, & producto latere g f, ad V, erit angulus D A L, æqualis angulo V f h; angulus enim D A L = D A B + B A K + K A L = f A g + P A f + h P A; ſed (per conſtr.) P A f = f g h, & f P A = f h g; cumque ſit triangulum f P h, ſimile triangulo f A g (356.), angulus f P h = f A g, adeóque h P A + f A g + h P A + f P h = f P A = f h g; quarè D A L = f g h + f h g = V f h (*per* 32. 1. *Elem.*). Et ſimiliter oſtenditur angulum D A T, eſſe æqualem Angulo V f i, ob triangula f A Q f Q i, triangulis f g i, f A g, ſimilia. Agantur rectæ K M, L N, quæ cum rectis A K, A L conſtituant angulos A K M, A L N angulis g h i, f h i æquales, rectiſque A O, A T productis occurrant in M & N, & triangula A K M, A L N ſimilia erunt triangulis g h i, f h i, (unde juxtà conſtructionem Newtoni erit K M : A K = h i : h g, & L N : A L = h i : h f). Etenim angulus M A K = P A Q = P A f — Q A f = f g h — f g i = i g h, (per conſtr.) quarè cum ſit quoque (per conſtr.) angulus A K M = g h i, triangula A K M, g h i ſunt ſimilia, angulus verò N A L = D A L — D A T = V f h — V f i (*per Dem.*) ſed V f h — V f i = i f h, ergò triangula i f h, N A L ſimilia ſunt. jungatur M N, demonſtrandum eſt hanc lineam productam tranſire per angulum i, quo trapezium tangit lineam E C i, ex puncto A, ad rectam P h, agatur A B

rectæ

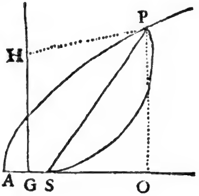
Digitized by Google

SECTIO VI.

De inventione motuum in orbibus datis.

PROPOSITIO XXX. PROBLEMA XXII.

Corporis in datâ trajectoriâ parabolicâ moti invenire locum ad tempus aſſignatum. [ſ].



[t] Sit *S* umbilicus & *A* vertex principalis parabolæ, ſitque 4 *A S* × *M* æquale areæ parabolicæ abſcindendæ *APS*, quæ radio *SP*, vel poſt exceſſum corporis de vertice deſcripta fuit, vel ante appulſum ejus ad verticem de-

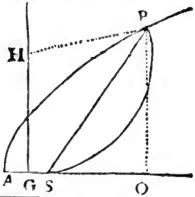
rectæ B h, parallela, ob ſimilia triangula f g h, f A P erit..... fg : hg = A f : P A
ob ſim tri. f g i, f A Q.... g i : f g = QA : Af
ob ſim. tri. g h i, AKM.... h g : g i = AK : AM
ob ſim. tri AKL, PAR.... AK : AL = PA : PR
ob ſim. tri. f Q i, f P h..... f h : f i = P h : Q i;
ſed ob ſim. tri. f h i, A L N,
f h : f i = A L : A N.
ergo A L : A N = P h : Q i
& A L : A N = P h — A L : Q i — A N
& quia AL = R h eſt AL : AN = PR : Q i — AN undè per compoſitionem rationum & ex æquo, AK : AN = QA × AK : AM × (Q i — A N) quarè A K × A M : A N × A M = Q A × A K : A M × Q i — A N, ac proindè A M : A N = Q A : Q i — A N, adeóque A M : A N = Q M ſeu Q A + A M : Q i ſeu Q i — A N + A N. Quoniam igitur rectæ A N, Q i, ſunt parallelæ) per conſtr.) patet puncta M, N, i, eſſe in unâ rectâ, atquè hæc eſt prima pars conſtructionis *Newtonianæ* quæ erat demonſtranda.

2ª. illius pars facilè oſtenditur. Nam (*vid. fig. Newt.*) junctâ P i, erit (per conſtr.) triangulum P i E, ſuper rectâ E i conſtructum ſimile triangulo f i g, ad cujus angulos i & g, ductæ ſunt ex puncto E, rectæ E i, E g; quarè (356), ſi per punctum P agatur recta P Q, quæ cum rectâ E g, contineat angulum P Q E æqualem angulo f i g, recta illa P Q, producta tanget angulum f, trianguli f i g, ſeu trapezii f g h i. Q. e. D.

(ſ) 358. NEWTONUS in hâc tota ſectione ſupponit corpus in trajectoriâ conicâ datâ ità moveri, ut radiis ad trajectoriæ umbilicum ductis areas ſeu ſectores deſcribat temporibus proportionales; eâ enim lege planetas omnes in orbitis conicis revolvi ex phænomenis lib. 3º. oſtendit. Prætereà ſupponit notum eſſe tempus quo corpus ex puncto trajectoriæ dato v. g. ex vertice illius principali ad aliud ejuſdem trajectoriæ punctum datum pervenit, datamque eſſe aream ſeu trajectoriæ ſectorem huic tempori correſpondentem, atque ex his datis quærit locum mobilis in trajectoriâ ad aliud quodvis tempus datum, aut contrà quærit tempus quo mobile datum quodvis trajectoriæ punctum attingit; nam cum ſint areæ temporibus proportionales, dato tempore quovis, datur area hoc tempore deſcripta, & viciſſim datâ areâ deſcriptâ datur tempus quo deſcribitur.

(t) * Sit S umbilicus, & A, vertex principalis parabolæ, datumque ſit tempus quo

ſcribenda eſt. Innoteſcit quantitas areæ illius abſcindendæ ex tempore ipſi proportionali. Biſeca AS in G, erigeque perpendiculum GH æquale 3 M, & circulus centro H, intervallo HS deſcriptus ſecabit parabolam in loco quæſito P. Nam, demiſsâ ad axem perpendiculari PO & ductâ PH, (u) eſt $AGq + GHq$



(= (x) $HPq = \overline{AO - AG} : quad. + \overline{PO - GH} : quad.$) $= AOq + POq - 2GAO - 2GH \times PO + AGq + GHq$. (y). Unde $2GH \times PO$ ($= AOq + POq - 2GAO$) $= AOq + \frac{3}{4}POq$. Pro AOq ſcribe $AO \times \frac{POq}{4AS}$; & applicatis terminis omnibus ad 3 PO ductiſque in 2 AS, fiet $\frac{4}{3}GH \times AS$ ($= \frac{1}{6}AO \times PO + \frac{1}{2}AS \times PO = \frac{AO + 3AS}{6} \times PO = \frac{4AO - 3SO}{6} \times PO =$ areæ $\overline{APO - SPO}$) $=$ areæ APS. Sed GH erat 3 M, & inde $\frac{4}{3}GH \times AS$ eſt 4 $AS \times M$. Ergo area abſciſſa APS æqualis eſt abſcindendæ 4 $AS \times M$. *Q. E. D.*

Co-

corpus in parabolâ motum, ut modò expoſuimus (358.) ex vertice A ad punctum P, aut ex puncto P ad verticem A pervenit, ſeu datum ſit tempus quo ſector quilibet A P S deſcribitur.

(u) * Eſt $AG^2 + GH^2 = HP^2$; nam $AG = GS$, $HP = HS = HA$, & angulus G rectus (per conſtr.) quare $HA^2 = HP^2 = AG^2 + GH^2$.

(x) * $HP^2 = \overline{AO - AG}^2 + \overline{PO - GH}^2$ Nam ex puncto H, ad rectam PO demiſſa intelligatur perpendicularis, hæc erit æqualis ipſi $GO = AO - AG$, & pars rectæ PO inter perpendicularem & punctum P intercepta æqualis erit $PO - GH$.

(y) * Undè ſublatis utrinque quadratis $AG^2 + GH^2$, & addito utrinque rectangulo $2GH \times PO$, eſt $2GH \times PO = AO^2 + PO^2 - 2GAO$; quoniam autem in parabolâ latus rectum $= 4AS = 8AG$, eſt $8AG \times AO$ ſive $8GAO = PO^2$, & $2GAO = \frac{1}{4}PO^2$, & $PO^2 - 2GAO = \frac{3}{4}PO^2$. Cum verò ſit $4AS \times AO = PO^2$, adeóque $4AS \times AO^2 = AO \times PO^2$, & $AO^2 = \frac{AO \times PO^2}{4AS}$, erit igitur $2GH \times PO = \frac{AO \times PO^2}{4AS} + \frac{3}{4}PO^2$, & dividendo utrinque per 3 PO, fiet $\frac{2}{3}GH = \frac{AO \times PO}{12AS} + \frac{1}{4}PO$, ductiſque omnibus terminis in 2 AS, fiet $\frac{4}{3}GH \times AS = \frac{1}{6}AO \times PO + \frac{1}{2}AS \times PO = \frac{AO + 3AS}{6} \times PO = \frac{\overline{4AO - 3SO}}{6} \times PO$

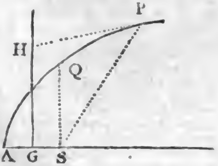
ob

Digitized by Google

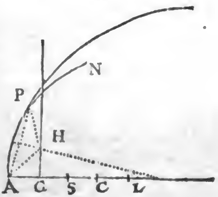
Corol. 1. Hinc *G H* eſt ad *A S*, ut tempus quo corpus deſcripſit arcum *A P* ad tempus quo corpus deſcripſit arcum inter verticem *A* & (a) perpendiculum ad axem ab umbilico *S* erectum.

Corol. 2. (b) Et circulo *A S P* per corpus motum *P* perpetuo tranſeunte, velocitas puncti *H* eſt ad velocitatem quam corpus

ob A S = A O — S O unde eſt 3 A S = 3 A O — 3 S O. Verùm $\frac{4\,AO \times PO}{6}$ ſeu $\frac{2}{3}$ A O × P O, eſt area parabolica A P O A, (*Archimed. prop.* 17. *quadr. Parab. ſup. Theor. I V. de Parab. pag.* 133.) & $\frac{3\,SO \times PO}{6}$ ſeu $\frac{1}{2}$ S O × P O, eſt area trianguli P S O, ergò area ſectoris Parabolici APS, æqualis eſt $\frac{4AO - 3SO}{6}$ × P O, quarè $\frac{4}{3}$ G H × A S = areæ A P S; *ſed G H = 3 M*, (*per conſtr.*) &c.



(a) * Sit perpendiculum illud S Q, erit area A S P, ad aream A S Q, ut $\frac{4}{3}$ G H × A S, ad $\frac{2}{3}$ A S × S Q (*Theor. I V. de Par. p.* 133.), ſed ex naturâ Parabolæ (*Vid. Cor.* 2. *Theor. I. de Par. p.* 131.) S Q æqualis dimidio lateri recto = 2 A S, ergò area A S P eſt ad aream A S Q, ſeu tempus per A P ad tempus per A Q, ut $\frac{4}{3}$ G H × A S ad $\frac{4}{3}$ A S², hoc eſt, ut G H ad A S. Dato igitur tempore quo deſcribitur arcus A Q, & tempore quo deſcribitur A P, per ſimplicem proportionem invenitur H G, & indè punctum P habetur.



(b) * Jungatur A P, & ad medium ejus punctum q, erigatur perpendiculum q L, axem ſecans in L, & quoniam (*ex Dem.*) eſt ſemper H P = H A, ideoque eſt A P chorda circuli cujus centrum eſt H. Itaque (*per* 1. 3¹. *Elem.*) perpendiculum illud q L, rectæ G H, occurrit in H; & ob ſimilitudinem triangulorum LGH, L q A, eſt G H : q A ſeu $\frac{1}{2}$ A P = L G : L q. Sumatur A C = 2 A S dimidio nempè lateris recti parabolæ & centro C, & intervallo C A, deſcribatur circulus A N, hic parabolam oſculatur in A (241); coeuntibus verò punctis P & A, H & G, coeunt etiam L & C, fitque L q = L A = C A = 2 A S = 4 G S, & L G = C G = 3 G S, atque arcus A P æqualis chordæ A P, (*Lem.* VII.); undè cum in proportione ſuperiori ſit G H : $\frac{1}{2}$ A P = L G : L q erit in hoc caſu G H : $\frac{1}{2}$ A P = 3 G S : 4 G S

Digitized by Google

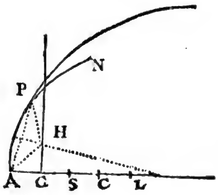
pus habuit in vertice *A* ut 3 ad 8; ideoque in eâ etiam ratione eſt linea *GH* ad lineam rectam quam corpus tempore motus ſui ab *A* ad *P*, eâ cum velocitate quam habuit in vertice *A*, deſcribere poſſet.

Corol. 3. Hinc etiam vice verſâ inveniri poteſt tempus quo corpus deſcripſit arcum quemvis aſſignatum *AP*. Junge *AP* & ad medium ejus punctum erige perpendiculum rectæ *GH* occurrens in *H*.

LEMMA XXVIII.

Nulla extat figura ovalis cujus area, rectis pro lubitu abſciſſa; poſſit per æquationes numero terminorum ac dimenſionum finitas generaliter inveniri.

(c) Intra ovalem detur punctum quodvis, circa quod ceu polum revolvatur perpetuo linea recta, uniformi cum motu, & interea in recta illa exeat punctum mobile de polo, pergat-

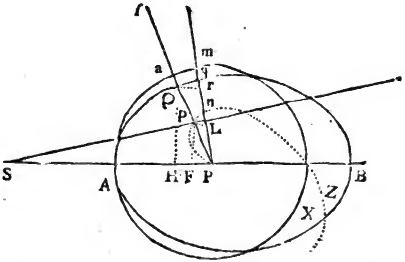


hoc eſt, $GH : AP = 3 : 8$. Verùm ob motum æquabilem & æquidiuturnum per naſcentes AP, GH, velocitas puncti H in G, eſt ad velocitatem corporis P in A ut GH ad AP, & quoniam (*ex Dem.*) eſt ſemper $\frac{4}{3}$ $AS \times GH$ æqualis areæ APS, & $\frac{4}{3}$ AS, eſt quantitas conſtans, erit ſemper GH, ut area APS, hoc eſt, ut tempus quo punctum H, percurrit GH, eſtque proindè motus illius æquabilis & velocitas ubique eadem. Quarè velocitas puncti H, eſt ubique ad velocitatem quam habet corpus P in A, ut naſcens GH, ad naſcentem AP, hoc eſt, ut 3. ad 8. Q. e. D.

(c) 359. Intrà ovalem ACBA detur punctum quodvis P, circà quod ceu polum revolvatur perpetuo linea recta infinita PS, uniformi cum motu, ità ut punctum datum A illius lineæ circuli AamX arcus æquales æqualibus temporibus deſcribat, & intereà in rectâ illâ PS, exeat punctum mobile p de polo P, pergatque ſemper in eâdem rectâ Pſ cum velocitate quæ ſit ut rectæ illius intrà ovalem quadratum, hoc eſt, cum linea PS pervenit ad ſitum Pſ, & punctum mobile p ad p, velocitas puncti p ſit ut quadratum rectæ PQ inter polum P & ovalem AQCB contentæ, hoc motu punctum illud p, deſcribet ſpiralem PpnZ, gyris infinitis.

Digitized by Google

gatque ſemper eâ cum velocitate, quæ ſit ut rectæ illius intra ovalem quadratum. Hoc motu punctum illud deſcribet ſpiralem gyris infinitis. Jam ſi areæ ovalis à rectâ illâ abſciſſæ portio per finitam æquationem inveniri poteſt, invenietur etiam per eandem æquationem diſtantia puncti à polo, (d) quæ huic areæ proportionalis eſt, ideoque omnia ſpiralis puncta per æquationem fini-



(d) 360. His ſuppoſitis erit ſemper recta P p ut area P A Q P; nam circulus A a m X diviſus intelligatur in arcus innumeros æquales ut a m, & ductis radiis P Q, P q ſpirali, circulo & ovali occurrentibus in p & n, a & m, Q & q, demiſſa capiantur ex punctis Q & p, ad P q, perpendicula Q r, p L, & eodem tempore quo punctum a, percurret arcum a m, punctum p percurret rectam L n; quâpropter naſcente arcu a m, erit L n ut velocitas puncti p in rectâ P f, hoc eſt, (*per Hyp.*) ut quadratum rectæ P Q; porro ob triangula ſimilia P a m, P Q r eſt $Pa : PQ = am : Qr = \frac{PQ \times am}{Pa}$, ac proindè ſectoris naſcentis P Q q area $\frac{1}{2}$ $Qr \times PQ = \frac{PQ^2 \times am}{2\,Pa}$. Cum igitur a m & 2 P a, ſint quantitates conſtantes (*ex hyp.*) erit ſector P Q q, naſcens ſeu fluxio areæ P A Q ut PQ^2, atque ideò ut naſcens L n, ſeu ut fluxio rectæ P p, & hinc tota area fluens P A Q, erit ut tota recta fluens P p, (*coroll. Lem.* I V.) Q. e. D.

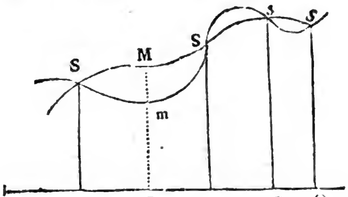
361. Puncta p & Q referantur ad rectam A B, poſitione datam demiſſis ad A B perpendicularibus Q H, p F ſitque area P A Q, æqualis quantitati finitæ *E* ex lineis variabilibus P H, Q H & aliis conſtantibus quomodolibet compoſitæ, & quoniam linea P p areæ P A Q ſeu quantitati finitæ *E* proportionalis eſt (360.) linea illa exprimi poterit per factum ex quantitate *E* in quantitatem conſtantem *B*, eritque $Pp\,E = \times B$ æquatio finita. Verùm ob ſimilia triangula P F p, P H Q & angulum ad H rectum, $Pp : pF = PQ$, ſeu $\sqrt{PH^2 + QH^2} : QH$, & $Pp : PF = PQ$ ſeu $\sqrt{PH^2 + QH^2} : PH$, & præter-

eà

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

finitam inveniri poſſunt: & propterea rectæ cujuſvis poſitione datæ interſectio cum ſpirali inveniri etiam poteſt per æquationem finitam. Atqui recta omnis infinite producta ſpiralem ſecat in punctis, numero infinitis, & (e) æquatio, quâ interſectio aliqua duarum linearum invenitur, exhibet earum interſectiones omnes radicibus totidem, ideoque aſcendit ad tot dimenſiones

eà ex naturâ ovalis A Q C B, datur alia æquatio inter P H & Q H, inveniuntur ergò quatuor æquationes finitæ quæ ſimul quinque tantum variabiles, nimirum P p, P F, p F, P H, Q H continent, quæque proindè ad unicam æquationem finitam poterunt reduci in quâ duæ tantum variabiles P F, p F reperientur, adeóque per hanc æquationem finitam omnia ſpiralis puncta inveniri poterunt, & propterea rectæ cujuſvis S p poſitione datæ interſectio p cum ſpirali inveniri etiam poterit per æquationem finitam; cum enim duæ rectæ S p, S B poſitione datæ ſint, linea S P magnitudine & triangulum S P F ſpecie dantur, & hinc datur ratio lineæ S F ſeu S P ∓ P F ad F p, & nova invenitur æquatio inter P F & F p; per hanc igitur æquationem & per alteram quæ ad ſpiralem eſt, determinabuntur P F, & F p, punctumque interſectionis p invenietur per æquationem finitam.



(e) 362. Lineæ duæ S M S, S m s ſe mutuò interſecantes in punctis S, s ad eandem rectam A Q poſitione datam referantur, ſintque A Q, A P abſciſſæ communes, & Q S, P M, P m ad eas ordinatæ; quoniam in communibus linearum S M s, S m s, interſectionibus S, S, ordinatæ P M, P m ſunt æquales, ſi in duabus ad lineas S M s, S m s æquationibus, manente abſciſsâ communi, loco ordinatarum P M, P m, eadem ſcribatur littera, v. gr. y, & deindè ex illis æquationibus eliminetur littera quæ abſciſſam communem exprimit, obtinebitur æquatio ex ſolâ y, & conſtantibus compoſito. Porrò hæc ultima æquatio non magis primam ordinatam communem S Q, ſeu primam interſectionem S, quam ſecundam aut tertiam &c. determinabit, cum ſit eadem omnium lex & conditio idemque calculus; hæc igitur æquatio debet omnes communes ordinatas Q S, omneſque interſectiones S, ſimul complecti & indifferenter exhibere, & ità tot radices ſeu ipſius y valores reddere quot ſunt communes ordinatæ ſeu interſectiones, æquatio autem tot dimenſiones habet quot radices; Si itaque linearum S M s, S m s, interſectiones S, s, ſunt numero finitæ, æquatio quoque quæ illas determinat finita eſt; at ſi fuerint interſectiones numero infinitæ, erit æquatio numero dimenſionum & radicum infinita.

Digitized by Google

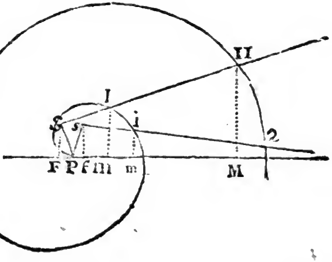
ſiones quot ſunt interſectiones. Quoniam circuli duo ſe mutuo ſecant in punctis duobus, interſectio una non invenietur niſi per æquationem duarum dimenſionum, quâ interſectio altera etiam inveniatur. (f) Quoniam duarum ſectionum conicarum quatuor eſſe poſſunt interſectiones, non poteſt aliqua earum generaliter inveniri niſi per æquationem quatuor dimenſionum, quâ omnes ſimul inveniantur. Nam ſi interſectiones illæ ſeorſim quærantur, quoniam eadem eſt omnium lex & conditio, idem erit calculus in caſu unoquoque, & propterea eadem ſemper concluſio, quæ igitur debet omnes interſectiones ſimul complecti & indifferenter exhibere. Unde etiam interſectiones ſectionum conicarum & curvarum tertiæ poteſtatis, eo quod ſex eſſe poſſunt, ſimul prodeunt per æquationes ſex dimenſionum, & interſectiones duarum curvarum tertiæ poteſtatis; quia novem eſſe poſſunt, ſimul prodeunt per æquationes dimenſionum novem. (g) Id niſi neceſſario fieret, reducere liceret, problemata omnia ſolida ad plana, & pluſquam ſolida, ad ſolida. (h) Loquor hic de

(f) * Exempli causâ. Sint $ap + px = yy$, & $bx - xx = yy$, æquationes ad parabolam & circulum, & invenietur $x = \frac{yy - ap}{p}$, & $\frac{byy - bap}{p} \frac{y^4 + 2apyy - aapp}{p^2} = yy$, æquatio quatuor dimenſionum, quoniam quatuor eſſe poſſunt parabolæ & circuli interſectiones. Sint $ap^2 + p^2 x = y^3$, & $bx - xx = y^2$ æquationes ad parabolam 3æ. poteſtatis & ad circulum, erit $x = \frac{y^3 - ap^2}{p^2}$ & $\frac{by^3 - bap^2}{p^2} \frac{y^6 + 2ap^2y^3 - a^2p^4}{p^2} = yy$ æquatio ſex dimenſionum quod eſſe poſſint interſectiones ſex, & ità de cæteris. Generatim vero tot eſſe poſſunt curvarum duarum interſectiones quot ſunt unitates in facto ex poteſtatis curvæ unius indice ſeu exponente in alterius exponentem; index autem poteſtatis curvæ idem eſt cum numero dimenſionum æquationis ad illam curvam.

(g) * Nam in ſolidorum problematum conſtructione duæ adhibentur ſectiones conicæ quarum interſectiones; ſeu ordinatæ duabus coni ſectionibus communes, problematis ſolutionem ſeu ultimæ æquationis radices ſuppeditant. Quarè ſi hujuſmodi interſectiones vel ordinatæ communes generaliter poſſent per æquationem quadraticam inveniri, problemata ſolida per æquationes duarum dimenſionum ſolvi ac conſtrui poſſent, atque ità ad plana reducerentur, eâdemque ratione plus quam ſolida ad ſolida, indeque ad plana revocarentur.

(h) Nonnunquam propoſita ad curvam æquatio ad inferiorem poteſtatem aut in duas æquationes inferioris poteſtatis reſolvi poteſt. Sic æquatio $ax^3 - a^2x^2 - bx^2y + axy^2 + abxy - by^3 = o$ reſolvi poteſt in duas $xx - ax + yy = o$, & $ax = by = o$ quarum prior eſt ad circulum, poſterior ad parabolam. Parabolæ autem & circuli cum lineâ quâvis interſectiones per calculos diverſos ſeorſim inveniri poſſunt.

de curvis poteſtate irreducibilibus. Nam ſi æquatio, per quam curva definitur, ad inferiorem poteſtatem reduci poſſit: curva non erit unica, ſed ex duabus vel pluribus compoſita, quarum interſectiones per calculos diverſos ſeorſim inveniri poſſunt. Ad eundem modum interſectiones binæ rectarum & ſectionum conicarum prodeunt ſemper per æquationes duarum dimenſionum, ternæ rectarum & curvarum irreducibilium tertiæ poteſtatis per æquationes trium, quaternæ rectarum & curvarum irreducibilium quartæ poteſtatis per æquationes dimenſionum quatuor, & ſic in infinitum. Ergo rectæ & ſpiralis interſectiones numero infinitæ, cum curvâ hæc ſit ſimplex & in curvas plures irreducibilis, requirunt æquationes numero dimenſionum & radicum infinitas, quibus interſectiones omnes poſſunt ſimul exhiberi. Eſt enim eadem omnium lex & idem calculus. (i) Nam ſi à polo in rectam illam ſecantem demittatur perpendiculum, & perpendi-



(i) * Sit polus P, ſecans S I, I I, ad eam ex polo normalis P s, interſectio prima in i, ſecunda in I I, &c. circà polum P, revolvatur perpendiculum P s, unà cum ſecante S I, II ad illud ſemper normali, ubi perpendiculum pervenit ad ſitum P s, & ſecans S I, I I ad ſitum s i 2, interſectio prima I, percurſo arcu I i, pervenit ad i; & poſt integram revolutionem cum s i 2, redit ad ſitum S I, I I; prima interſectio I, ſeu i, pervenit ad I I, & fit ſecunda, & poſt duas revolutiones fit tertia & ſic deinceps. Ex punctis S, s, ad rectam P M infinitam & poſitione datam demittantur perpendicula S F, s f; manente ſecantis S I, I I, poſitione,

diculum illud unà cum ſecante revolvatur circa polum, interſectiones ſpiralis tranſibunt in ſe mutuo, quæque prima erat ſeu proxima, poſt unam revolutionem ſecunda erit, poſt duas tertia, & ſic deinceps: nec interea mutabitur æquatio niſi pro mutatâ magnitudine quantitatum per quas poſitio ſecantis determinatur. Unde cum quantitates illæ poſt ſingulas revolutiones redeunt ad magnitudines primas, æquatio redibit ad formam primam, ideoque una eademque exhibebit interſectiones omnes, & propterea radices habebit numero infinitas, quibus omnes exhiberi poſſunt. Nequit ergo interſectio rectæ & ſpiralis per æquationem finitam generaliter inveniri, & idcirco nulla extat ovalis cujus area, rectis imperatis abſciſſa, poſſit per talem æquationem generaliter exhiberi.

(k) Eodem argumento, ſi intervallum poli & puncti, quo ſpiralis deſcribitur, capiatur Ovalis perimetro abſciſſæ proportionale, probari poteſt quod longitudo perimetri nequit per finitam æqua-

tione; conſtantes ſunt rectæ S F, F P; S P, quibus illa poſitio determinatur, & demiſſâ ex I ad P M perpendiculari I m datur æquatio aliqua inter P m vel I m & datas S P, F P, S F, quâ interſectio I exhibetur; ubi verò ſecans S I I I, pervenit ad ſitum s i 2, manente ſecantis s i 2 poſitione, datur æquatio inter i m vel P m & datas s P, ſeu S P, P f, s f, & æquatio hæc à priori diverſa non eſt, niſi ratione quantitatum F P F S, quæ mutatæ ſunt in f P, fs, per quas ſecantis s i 2, poſitio determinatur, cum utraque æquatio in ſitu S I I I, & ſitu s i 2, ab æquatione ad ſpiralem quæ eadem ſemper manet & ab æquatione ſecantis poſitionem determinante diducantur. Quoniam igitur lineæ f s, f P poſt primam revolutionem ac proindè poſt ſingulas redeunt ad magnitudines primas F S, F P interſectione primâ in ſecundam tranſeunte, ſecundâ in tertiam, & ſic deinceps, æquatio inter I I M, vel P M, & datas P F, P S, S F, redibit ad formam primam quam habebat æquatio inter I m, vel P m, & eaſdem datas quantitates P F, P S, S F, adeóque una eademque æquatio exhibebit interſectiones omnes I, I I, &c. ſeu valores I m, I I M, &c. propterea radices exhibebit numero infinitas quibus omnes exhiberi poſſunt.

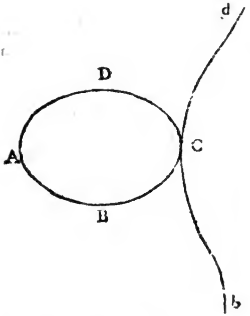
(k) * Eâ enim ratione ſpiralis deſcribetur gyris infinitis ad quam proindè æquatio erit numero dimenſionum infinita, quæ quidem finita deberet eſſe, ſi longitudo perimetri ovalis pro lubitu abſciſſa ſeu intervallum puncti ſpiralem deſcribentis & poli, per finitam æquationem generaliter exhiberi poſſet.

Digitized by Google

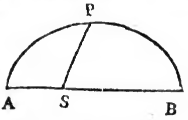
æquationem generaliter exhiberi. (l) De ovalibus autem hic loquor quæ non tanguntur à figuris conjugatis in infinitum pergentibus.

Corollarium.

(m) Hinc area ellipſeos, quæ radio ab umbilico ad corpus mobile ducto deſcribitur, non prodit ex dato tempore, per æquationem finitam; & propterea per deſcriptionem curvarum geometricè rationalium determinari nequit. Curvas geometricè rationales appello quarum puncta omnia per longitudines æquatio-



(l) * Ovalem A B C D tangat in C curva conjugata b C d, cujus rami C b, C d in infinitum pergant, pro hujuſmodi ovalibus non valet NEWTONI demonſtratio. Supponit enim circà punctum datum in ovali perpetuò revolvi lineam rectam uniformi cum motu quæ ſit ad peripheriam ovalis terminata, & abſcindat areas ſibi proportionales; ſi autem ovalis tangatur à figurâ conjugatâ b C d, cujus rami in infinitum pergunt, evidens eſt lineâ rectâ intrà ovalem revolvente non percurri totam novæ hujus figuræ aream, nec gyris perpetuis ac infinitis ſimplicem ſpiralem deſcribi.



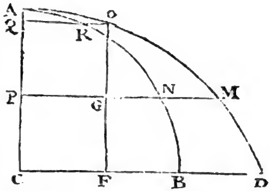
(m) 363. Sit Ellipſeos A P B, axis A B, umbilicus S, radius vector S P, dataque ſint totius Ellipſis area & tempus periodicum, ſitque tempus periodicum ad tempus per arcum A P, ità area totius ellipſeos ad aream ſectoris A P S, obtinebitur æquatio inter aream A P S, & tempus quo illa deſcribitur. Unde ſi poſteà inveniri poſſet æquatio finita inter aream indefinitam A P S & radium vectorem S P ac datas quantitates, inveniretur quoque æquatio finita inter tempus per arcum quemvis A P, & radium vectorem S P, qui ità ex dato tempore per æquationem finitam prodiret; Et viceversâ, ſi ex tempore quo arcus A P deſcribitur, radii vectoris S P longitudo per æquationem finitam poſſet determinari, ope hujus æquationis & ſuperioris proportionis inter tempora & areas obtineretur æquatio finita inter aream quamlibet A S P & radium vectorem S P ac datas quantitates; quod impoſſibile eſſe demonſtratum eſt; & propterea longi-

tu-

tionibus definitas, id eſt, per longitudinum rationes complicatas, determinari poſſunt; cæteraſque (ut ſpirales, quadratrices, trochoides) geometricè irrationales. Nam longitudines quæ ſunt vel non ſunt ut numerus ad numerum (quemadmodum in decimo elementorum) ſunt arithmeticè rationales vel irrationales. Aream igitur ellipſeos tempori proportionalem abſcindo per curvam geometricè irrationalem ut ſequitur. PRO-

tudo (ac proindè poſitio quæ ex longitudine data eſt) radii vectoris S P, per deſcriptionem curvarum geometrice rationalium determinari nequit. Sunt autem curvæ geometricè rationales in quibus ordinatarum & abſciſſarum rectarum relatio æquatione finitâ exprimi poteſt, quarumque proinde puncta omnia per harum rectarum linearum rationes complicatas determinari poſſunt. Si in æquatione ad curvam $ax^m + by^n + \&c. = 0$ numerus terminorum finitus ſit & exponentes m, n, rationales fuerint, curva erit geometricè rationalis contrà ſi numerus terminorum infinitus fuerit, & ſummari nequeant, aut ſi exponens aliquis irrationalis fuerit, curva eſt geometrice irrationalis.

364. Circuli (adeóque & Ellipſis) quadraturam ſeu rectificationem indefinitam finitâ æquatione exhiberi non poſſe demonſtravit Saurinus in Commentariis Pariſienſibus an. 1720. illius demonſtrationem ut potè facilem & brevem referemus. Sit quadrans circuli C A B, & ex puncto quovis N arcûs A B demittatur ad radium A C perpendicularis N P, demonſtrandum eſt arcûs A N, & rectarum A P, P N relationem nullâ æquatione finitâ poſſe exprimi. Deſcripta intelligatur curva A O M D cujus hæc ſit natura ut recta M P ex puncto quovis M ad radium A C perpendiculariter demiſſa, ſit æqualis arcui abſciſſo A N; ope curvæ A M D arcus A N in ratione quâvis datâ rectæ P G ad P M dividi poteſt in R; nam ſi per punctum G agatur recta G o, ipſi P M normalis & curvæ A M D occurrens in o, atque ex puncto o, ducatur ad A C perpendicularis o Q arcum A N ſecans in R, erit A R = Q o, adeòque A R : A N = P G : P M. Verùm demonſtravit Clariſſ. *Hoſpitalius* art. 443. lib. 10. Sectionum Conicarum,



quod ſi arcus A N ſit in partes æquales dividendus quarum una ſit A R, æquatio quâ determinatur partis unius Chorda A R, tot dimenſiones obtinet quot ſunt in arcu A N, partes æquales, atque adeò ſi dividendus ſit arcus A N in ratione indefinitâ rectæ P G ad P M, æquatio illa finita eſſe nequit. Ergò curva A M D, quâ arcus quilibet A N in ratione quâvis P G ad P M per eandem ſemper conſtructionem dividitur geometricè, rationalis non eſt; ſed ſi arcus A N & rectarum A P, P N relatio poſſet æquatione finitâ exprimi, eadem æquatio exhiberet quoque relationem abſciſſæ A P ad ordinatam P M, ac proinde curva A M D eſſet geometricè rationalis. Ergò rectificatio arcûs A N, æquatione finitâ generaliter exhiberi non poteſt. Q. E. D.

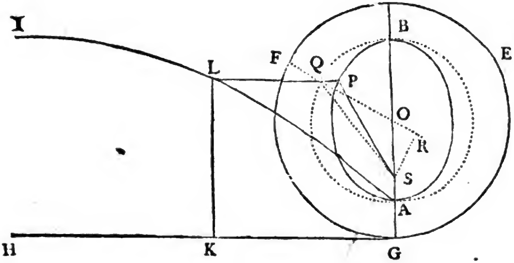
365. Hinc patet curvas omnes quarum deſcriptio pendet à quadraturâ vel rectificatione circuli & ovalium indefinitâ, quales ſunt ſpirales, quadratrices, trochoides eſſe geometricè irrationales. Ex demonſtratis autem minimè ſequitur, circuli & ovalium quadraturam vel rectificationem determinatam ſeu quadraturam vel rectificationem totius ovalis aut portionis illius determinatæ impoſſibilem eſſe.

Digitized by Google

PROPOSITIO XXXI. PROBLEMA XXIII.

Corporis in datâ trajectoriâ ellipticâ moti invenire locum ad tempus aſſignatum.

Ellipſeos *APB* ſit *A* vertex principalis, *S* umbilicus, & *O* centrum, ſitque *P* corporis locus inveniendus. Produc *OA* ad *G*, ut ſit *OG* ad *OA* ut *OA* ad *OS*. Erige perpendiculum *GH*, centroque *O* & intervallo *OG* deſcribe circulum *GEF*, & ſuper regula *GH*, ceu fundo, progrediatur rota *GEF* revolvendo circa axem ſuum, & interea puncto ſuo *A*



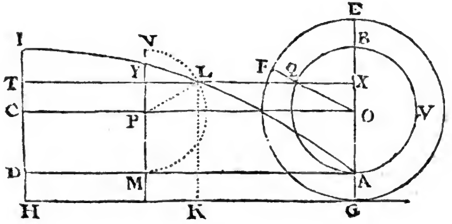
deſcribendo trochoidem *ALI*. Quo facto; cape *GK* in ratione ad rotæ perimetrum *GEFG*, ut eſt tempus, quo corpus progrediendo ab *A* deſcripſit arcum *AP*, ad tempus revolutionis unius in ellipſi. Erigatur perpendiculum *KL* occurrens trochoidi in *L*, & acta *LP* ipſi *KG* parallela occurret ellipſi in corporis loco quæſito *P*.

Nam centro *O*, intervallo *OA* deſcribatur ſemicirculus *AQB*, & arcui *AQ* occurrat *LP* ſi opus eſt producta in *Q*, junganturque *SQ*, *OQ*. Arcui *EFG* occurrat *OQ* in *F*, & in can-

eandem OQ demittatur perpendiculum SR. ([n]) Area APS, eſt ut area AQS, id eſt, ut differentia inter ſectorem OQA & triangulum OQS, ſive ut differentia rectangulorum $\frac{1}{2} OQ \times AQ$ & $\frac{1}{2} OQ \times SR$, hoc eſt, ob datam $\frac{1}{2} OQ$, ut differentia inter arcum AQ & rectam SR, ideoque (cum ([p]) eædem ſint datæ rationes SR ad ſinum arcus AQ, OS ad OA, OA ad OG, AQ ad GF, & diviſim ([q]) $AQ - SR$ ad $GF -$ ſinu arcus AQ) ut GK differentia inter arcum GF & ſinum arcus AQ. *Q. E. D.*

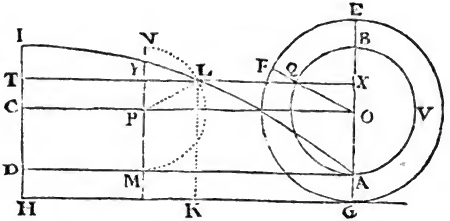
(n) 366. *Area APS eſt ut area AQS* (251) ſed area AQS æqualis eſt *differentiæ inter ſectorem OQA & triangulum OQS*, ſector verò $OQA = \frac{1}{2} OQ \times AQ$, & triangulum $OQS = \frac{1}{2} OQ \times SR$. Ergò ob datam $\frac{1}{2}$ OQ, area AQS adeòque & area APS eſt ut differentia inter arcum AQ & rectam SR ex foco S in radium QO perpendiculariter demiſſam.

(p) 367. Si ex puncto Q ad diametrum AB, demittatur perpendiculum ſeu ſinus arcûs AQ, triangulum OSR, ſimile erit triangulo contento ſub radio OQ ſinu & coſinu arcûs AQ; unde erit SR ad ſinum arcûs AQ, in datâ ratione OS ad OQ ſeu OA; ſed (per conſtr.) $OS : OA = OA : OG$, & OA ad OG ut arcus AQ ad arcum GF, & diviſim AQ — SR eſt ad GF — ſinu arcûs AQ ut SR ad ſinum arcûs AQ, ſive in datâ ratione OS ad OA. Eſt igitur differentia inter arcum AQ, & rectam SR, adeóque & area APS, ut differentia inter GF, & ſinum arcûs AQ.



(q) Quòd autem ſit GK æqualis differentiæ inter arcum GF & ſinum arcûs AQ facile eſt demonſtrare. Sit enim ALI dimidia trochois ſemirevolutione rotæ GFE deſcripta, erit GH, æqualis ſemiperipheriæ CFE, & HI æqualis & parallela rectæ GB; Per puncta A, O, L agantur rectæ AD, OC, XT parallelæ & æquales rectæ GH, & trochois deſcripta intelligatur duplici motu circuli AVBQ, al-

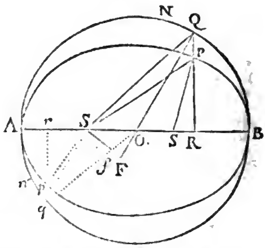
De Motu Corporum. Liber Primus.



altera quidem quo centrum O cum plano circuli uniformiter feratur per rectam O C, altero quo eodem tempore punctum A in circuli peripheriâ uniformiter percurrat ſemiperipheriam A V B, & centrum O, circuli mobilis A V B ſit in P quando punctum A pervenit in L & jam percurrit arcum M L; Quoniam in motu æquabili ſpatia eodem tempore percurſa ſunt in datâ ratione, erit recta O C (hoc eſt ſemicircumferentia rotæ G F E) quam centrum O percurrit, ad ſemiperipheriam A V B, quam eodem tempore percurrit punctum A, ut O P ad arcum M L, ſed ſemiperipheria G F E eſt quoque ad ſemiperipheriam A V B, ut arcus G F ad arcum A Q ſeu æqualem M L; eſt igitur G F = O P = Y X, ac proindè YX — QX = YX — YL = LX = G K = G F — Q X eſt vero Q X ſinus arcus A Q, ergo eſt G K æqualis differentiæ inter G G & ſinum arcus A Q. Q. e. D.

Itaque area A P S, eſt ut G K, adeóque area A P S, eſt ad aream ſemiellipſis A P B (*vid. fig. Newt.*) ut G K ad G H, & area A P S, eſt ad aream totius ellipſeos ut G K, ad 2 G H, ſeu tempus per arcum A P, eſt ad tempus unius revolutionis in Ellipſi ut G K ad perimetrum rotæ. Si ergò capiatur G K ad rotæ perimetrum ut eſt tempus per A P, ad tempus periodicum & cætera fiant ut in *Newtonianâ* conſtructione, erit P locus corporis in Ellipſi. Ex demonſtratis quædam deducuntur corollaria.

368. Cor. 1. Planeta revolvatur in El-



lipſi A P B vi tendente ad umbilicum S quem ſol occupat, ſitque linea apſidum, ſeu axis major A B, centrum O, ac proindè excentricitas ſeu diſtantia centri O à ſole S, S O; B aphelion ſeu punctum in orbitâ à ſole remotiſſimum, A perihelion ſive punctum ſoli proximum, locus planetæ in P; centro O radio O B deſcribatur circulus B Q A qui dicitur circulus excentricus, & per P agatur recta Q R axi A B normalis & circulo occurrens in Q, junganturque S P (quæ dicitur intervallum) & S Q. Ex demonſtratis (251) manifeſtum eſt aream SQB eſſe ad aream totius circuli ut eſt area S P B ad aream totius ellipſeos. Quarè ſi area circuli B Q A rectâ S Q ex foco S ductâ in datâ ratione

Digitized by Google

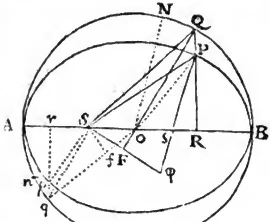
æ diviſa fuerit, demiſſo ex puncto Q, perpendiculo Q R ellipſi occurrente in P, & junctâ S P, erit etiam area ellipſeos in eâdem datâ ratione diviſa. Ut itaque rectâ ex umbilico S ductâ abſcindatur ellipſeos area data, ſeu quæ ſit ad aream totius Ellipſeos in ratione datâ, ſufficit rectam S Q, in circulo ducere quæ aream circuli in illa datâ ratione ſecet.

369. *Cor.* 2. In radium Q O ſi opus fuerit productum, ex umbilico S demittatur perpendiculum S F, & erit, (*ex Dem.*) area S Q B ut arcus B Q + recta S F ſi motus fiat ab aphelio B ad perihelium A per arcum BQA, ſed ſi planeta à perihelio A ad aphelion B feratur per A p B, erit area A S q, ut arcus A q — recta S f; hinc ſi capiatur arcus B N, vel A n, proportionalis tempori quo planeta percurrit arcum B P, vel A p, erit B Q + S F = B N, vel A q — S f = A n, adeóque S F = Q N, vel S f = q n. Et ſi datus fuerit arcus B Q vel A q, & priori addatur arcus N Q vel poſteriori demâtur arcus n q æqualis rectæ S F vel S f, erit arcus B N proportionalis tempori quo planeta fertur per arcum B P, arcus A n proportionalis tempori per arcum A p, & arcus B A n proportionalis tempori per arcum B P A p.

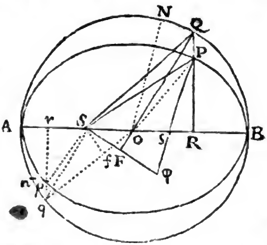
370. Arcus B Q dicitur anomalia excentri, angulus B S P ſub quo diſtantia planetæ ab aphelio B P ex ſole videtur anomalia vera vel coæquata ſeu angulus ad Solem dicitur; tempus verò quo planeta ab aphelio B ad orbitæ ſuæ punctum quodlibet P digreditur, anomalia media ſive ſimplex appellatur. Undè ſi tempus periodicum totâ circuli peripheriâ ſeu 360. gradibus exprimatur, erit arcus B N anomaliæ mediæ æqualis, ſeu anomaliam mediam exhibebit; cum ſit B N ad totam peripheriam ut tempus per B P ad tempus periodicum (369.) Differentia inter anomaliam mediam & veram ſeu differentia inter angulum N O B & angulum P S B æquatio centri ſeu proſthaphæreſis vocatur.

371. Ex datâ anomaliâ verâ ſeu angulo B S P, facilè invenitur ei congrua anomalia media, ſeu arcus B N, quoniam enim ſumpta rectâ S R pro ſinu toto, eſt P R tangens anguli P S R, & Q R tangens anguli Q S R, atque P R ad Q R ut minor axis ellipſeos ad majorem; ſi fiat ut axis minor ad majorem, ita tangens anguli dati P S B ad 4um., invenietur tangens anguli Q S B ſive Q S O, ac proindè angulus Q S O; hinc datis in triangulo S Q O, duobus lateribus S O, O Q cum angulo Q S O, invenietur angulus S O Q, & illius ad duos rectos complementum Q O B ſeu anomalia excentri B Q dabitur. Fiat ut Q O, ad S O. ità 57°. 29578 (qui arcus eſt radio æqualis) ad quartum & dabitur arcus æqualis S O in gradibus gradùſque partibus decimalibus, dicatur hic arcus *B*, & quoniam eſt S O ad S F, ut O Q ad Q R, ſeu ut radius ad ſinum anguli Q O B ſive arcus B Q, fiat ut radius ad ſinum arcûs B Q, ità S O ſive arcus *B*, ad 4um., & dabitur in gradibus arcus in peripheriâ B Q A ſumendus æqualis rectæ S F; cumque ſit recta S F æqualis arcui Q N, (369.) dabitur arcus Q N, & proindè B N anomalia media, atque hinc facile eſt anomaliarum & æquationum centri tabulas conſtruere.

372. In orbitis planetarum non admodùm excentricis, datâ anomaliâ mediâ facilè per approximationem duabus methodis ſequentibus invenitur anomalia coæquata.

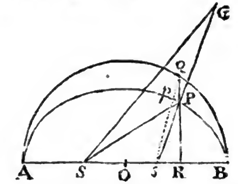


Methodus *Wardi*. Ad ſecundum focum s, fiat angulus B s P, æqualis anomaliæ mediæ, jungatur S P, erit angulus PSB, anomalia vera, quod quidem ipſe *Wardus* aſſumebat ut verum ex Hypotheſi merâ, ſed quod etiam ex ſuppoſitione areas eſſe temporibus proportionales deducitur, ſaltem quam proximè: eſt enim angulus N O B ſive anomalia media, æqualis angulis Q O B & NOQ, & QOB ſive anomalia excentri, eſt æqualis angulis Q S B (ſive P S B neglecto QSP) & SQO, ergo angulus NOB eſt æqualis

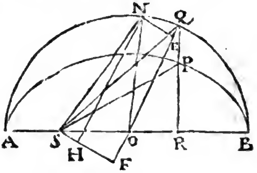


lis angulis P S B, S Q O, N O Q quibus etiam quam proximè æqualis eſt angulus P s B, nam coeuntibus focis S & s cum centro O, puncta Q & P etiam coeunt & angulus S P O angulo S Q O eſt quàm proximè æqualis; pariter ut Q O proxime coincidit cum P O fingatur S F eſſe perpendicularem in ipſam P O, & produci donec cum P s producto in φ concurrat, erunt quam proximè O F, s φ parallelæ, ideoque ob æquales S O, O s, æquales erunt S F & F φ, S P & P φ, ut & anguli S P F & F P φ ſive O P s, ſed ob S F æqualem Q N & S Q ſive S P prope æqualem O Q eſt angulus S P F ſive O P s prope æqualis angulo N O Q: ergo totus angulus S P s eſt æqualis angulis S Q O & N O Q ſimul ſumptis, & cum angulus P s B ſit æqualis angulis P S B & S P s, æqualis prope erit angulis P S B, S Q O, N O Q ſicut angulus N O B, ergo angulus P s B eſt quàm proximè anomalia media cujus anomalia coæquata eſt P S B.

Dato autem angulo B s P, angulum P S B, ità quærit *Wardus*. Producatur s P, ad G, ut ſit P G = P S, & jungatur S G, erit s G = S P + P s = A B (*ex nat. Ellipſ.*) adeóque in triangulo G s S, datis lateribus G s, S s, angulo S s G dantur anguli S G s (= G S P, ob S P = P G) & C S s, undè cognoſcetur angulus P S s ſive P S B æqualis nempe differentiæ angulorum G S s, G S P, quarè in triangulo S P s, datis angulis duobus P s S, P S s, angulo S P s, qui eſt ſumma angulorum G S P, S G P, & latere S s, invenietur latus S P ſeu intervallum.



Ubi excentricitas paulo major eſt, *Wardi* methodum ità corrigit *Bullialdus*. Per punctum P *Wardi* methodo determinatum agatur Q R axi A B normalis, & excentrico occurrens in Q, jungaturque s Q, orbitam ſecans in p, erit p, locus planetæ accuratior.

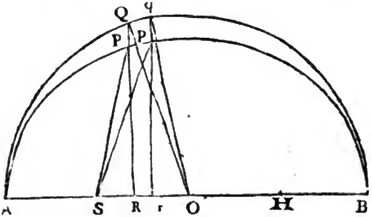


Methodus *Caſſini*. Omnibus poſitis (ut ſuprà num. 369.) jungantur S N, O N & agantur N H rectæ Q F parallela & lineæ S F occurrens in H, & N E parallela S F rectæ Q F occurrens in E, erit N E = H F ſinus arcûs N Q; cumque ſit S F = N Q (369) erit S H differentia inter arcum N Q & ipſius ſinum N E; ſi excentricitas S O exigua fuerit erit fere N Q = N E = H F = S F & proindè S N parallela F Q, adeóque angulus S N O, æqualis angulo N O Q; Porrò in triangulo S N O, datis duobus lateribus N O, S O, & angulo intercepto S O N (complemento nempe anomaliæ mediæ datæ ad duos rectos) invenietur angulus SNO ſeu NOQ, & ipſius menſura nempè arcus N Q; & indè innoteſcet anomalia excentri B Q; Hinc in triangulo S Q O, datis lateribus S O, O Q & angulo S O Q, invenietur an-

Digitized by Google

Scholium.

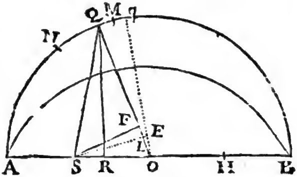
(r) Cæterùm, cùm difficilis ſit hujus curvæ deſcriptio, præſtat ſolutionem vero proximam adhibere. Inveniatur tum angulus quidam B, qui ſit ad angulum graduum 57. 29578, quem



arcus radio æqualis ſubtendit, ut eſt umbilicorum diſtantia *SH* ad ellipſeos diametrum *AB*; tum etiam longitudo quædam L, quæ ſit ad radium in eâdem ratione inversè. Quibus ſemel inven-

angulus Q S O, & ſumptâ S R pro ſinu toto, erit Q R ad P R ſeu axis major ad minorem, ut tangens anguli dati Q S B ad tangentem anguli ad ſolem P S B, qui ità obtinebitur.

Hæc ſatis ſunt in orbitis planetarum non valde excentricis, ſed in orbitis Mercurii & Martis quarum major eſt excentricitas ita invenitur arcus N Q. Ex datis in triangulo S N O, lateribus S O, N O, & angulo S O N, inveniuntur latus S N, & angulus S N O; deindè quæritur in partibus decimalibus radii O N differentia inter arcum qui metitur angulum S N O, & ejus ſinum quæ citrà errorem ſenſibilem ſupponi poteſt æqualis rectæ S H, ſeu differentiæ inter arcum N Q anguli N O Q menſuram & ejus ſinum N E. Sitque ille decimalium numerus *A*. Invenietur numerus decimalium radii S N quem eadem linea S H continet dicendo ut S N ad N O ſic *A* ad numerum quæſitum *B*, & quoniam in triangulo rectangulo S H N eſt S N ad ſinum totum ut S H ſive *B* ad ſinum anguli S N H, invenietur ergò angulus S N H, ex angulo invento S N O ſubducendus, ut relinquatur angulus H N O, ſeu æqualis N O Q, ſive arcus N Q.

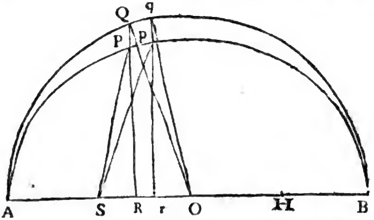


(r) 373. Sit axis major ellipſeos A B, centrum O, umbilici S & H, & feratur planeta à perihelio A ad aphelium B, radio A O deſcribatur circulus excentricus A Q B; quoniam radius circuli æqualis eſt arcui graduum 57. 29578, ſi fiat A B ad S H ſeu Q O ad S O, ut arcus vel angulus 57. 29578, ad arcum B, erit B arcus æqualis rectæ S O. Cognoſcitur arcus A N tempori proportionalis, & dicatur *N*; deinde per methodum *Wardi* aut *Caſſini*, vel aliâ ratione inveniatur arcus

 A Q,

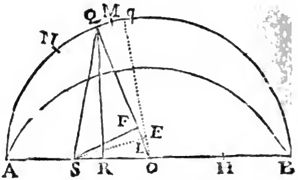
Digitized by Google

ventis, problema deinceps conſit per ſequentem analyſin. Per conſtructionem quamvis, vel utcunque conjecturam faciendo, cognoſcatur corporis locus *P* proximus vero ejus loco *p*. Demiſsâque ad axem ellipſeos ordinatim applicatâ *PR*, ex proportione diametrorum ellipſeos, dabitur circuli circumſcripti *AQB* ordinatim applicata *RQ*, quæ ſinus eſt anguli *AOQ* exiſtente *AO* radio, quæque ellipſin ſecat in *P*. Sufficit angulum illum



rudi calculo in numeris proximis invenire. Cognoſcatur etiam angulus tempori proportionalis, id eſt, qui ſit ad quatuor rectos, ut eſt tempus, quo corpus deſcripſit arcum *Ap*, ad tempus

AQ, proximè æqualis anomaliæ excentri à perihelio A ſumptæ, erit arcus NQ æqualis rectæ SF ex umbilico S in radium QO perpendiculariter demiſſæ (369). fiat ut SH ad AB ſive ut SO ad QO, ita radius *R* ad longitudinem quandam *L*, & erit $QO = \frac{SO \times L}{R}$. & quoniam triangulum SOF, ſimile eſt triangulo QOR erit QO : QR = SO : SF, hoc eſt, radius ad ſinum anguli QOA, ut arcus *B* ad alium arcum *D* qui erit æqualis rectæ SF: Si itaque arcus AQ rectè aſſumptus fuiſſet foret arcus *D* æqualis arcui NQ (369): Si verò arcus AQ accuratus non eſt, capiatur NM = *D*, punctum M cadet ſuprà vel infra punctum Q. Sit anomalia excentri accurata (quæ eſt incognita) Aq, & in radium qO cadat perpendiculum SE erit æquale Nq



(369.) undè SE − SF, hoc eſt ferè LE = Nq − NM = Mq = Qq − QM. Quoniam verò angulus QOq, parvus eſt, erit OE : Oq ſive OQ = LE : Qq = Qq − QM : Qq. Undè OQ − OE : OQ = QM : Qq. Sed

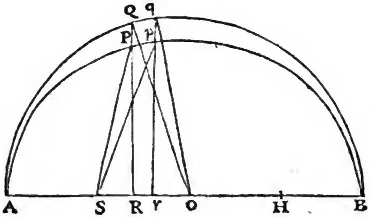
Digitized by Google

pus revolutionis unius in ellipſi. Sit angulus iſte N. Tum capiatur & angulus D ad angulum B, ut eſt ſinus iſte anguli *AOQ* ad radium, & angulus E ad angulum N — *AOQ* + D, ut eſt longitudo L ad longitudinem eandem L coſinu anguli *AOQ* diminutam, ubi angulus iſte recto minor eſt, auctam ubi major. Poſtea capiatur tum angulus F ad angulum B; ut eſt ſinus anguli *AOQ* + E ad radium, tum angulus G ad angulum N — *AOQ* — E + F ut eſt longitudo L ad longitudinem eandem coſinu anguli *AOQ* + E diminutam ubi angulus iſte recto minor eſt, auctam ubi major. Tertiâ vice capiatur angulus H ad angulum B, ut eſt ſinus anguli *AOQ* + E + G ad radium; & angulus I ad angulum N — *AOQ* — E — G + H, ut eſt longitudo L ad eandem longitudinem coſinu anguli *AOQ* + E + G diminutam, ubi angulus iſte recto minor eſt, auctam ubi major. Et ſic pergere licet in infinitum. Denique capiatur angulus *AOq* æqualis angulo *AOQ* + E + G + I + &c. Et ([f]) ex coſinu

Sed O E, eſt ferè æqualis O F, ergò O Q — O F : O Q = Q M : Q q. Porrò O Q, eſt ad R O, ſeu radius ad coſinum anguli A O Q, ut S O, ad O F, adeóque $OF = \frac{SO \times \text{coſ. } AQ}{R}$. Creſcentibus A N, AQ, QR, decreſcit RO, & evaneſcit ubi AQ eſt circuli quadrans, ac tandem fit negativa ubi A Q quadrante major eſt. Quarè cum ſit + O Q : + S O = R O : O F, O F idem ſignum + vel — habere debet cum R O, adeòque ſi angulus A O Q, ſeu arcus A Q eſt quadrante minor, O F eſt quantitas affirmativa; Si A Q quadrans eſt, O F evaneſcit; Si A Q eſt quadrante major, O F fit negativa. Eſt igitur $OQ - \frac{SO \times \text{coſ. } AQ}{R} : OQ = QM : Qq$, ſeu ob $QO = \frac{SO \times L}{R}$, eſt $\frac{SO \times L - SO \times \text{coſ. } AQ}{R} : \frac{SO \times L}{R}$, ſive $L - \text{coſ. } AQ : L = QM : Qq$, ſi fuerit A Q minor quadrante, & $L + \text{coſ. } AQ : L = QM : Qq$, ſi fuerit A Q major quadrante. Eſt autem arcus Q M = A N — A Q + N M = *N* — A Q + *D*, quarè ſi arcus Q q, dicatur *E*, erit *E* : *N* — A Q + *D* = *L* : *L* ∓ coſ. A Q & A Q + E, erit æqualis A q; invento itaque *E* per ultimam proportionem, ſi loco A Q capiatur arcus accuratior A q, ſeu angulus A O Q + *E*, & inſtituatur proceſſus priori ſimilis, capiendo arcum *F*, ad arcum *B*, ut eſt ſinus arcûs A Q + *E* ſeu A q ad radium, & arcum G ad arcum *N* — A q + *F*, ſeu, *N* — A Q — *E* + *F*, ut eſt longitudo *L*, ad longitudinem eandem coſinu anguli A O q ſeu A O Q + E diminutam ubi angulus A O q recto minor eſt, auctam ubi major, erit A Q + *E* + G, ſeu A q + G, arcus magis verus, & ſimiliter ſi loco arcûs A q, uſurpetur arcus A q + G & idem repetatur proceſſus, invenietur novus arcus A Q = *E* + G + *I*, ſeu A q + G + *I*, accuratior arcu A q + G, & ſic pergere licet in infinitum & quantumvis proximè ad veritatem accedere.

(f) * *Ex coſinu Or.* Eſt enim radius ad coſinum anguli inventi A O q, ut q O ad O r, invenientur ergò punctum r, & ordinata q r. Deinde ſi fiat ut axis major ad minorem, ità q r ad p r, habebitur locus corporis p.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.



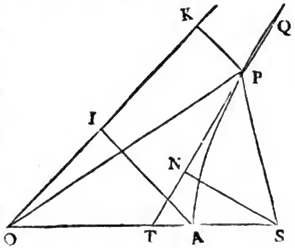
ſinu ejus Or & ordinata pr, quæ eſt ad ſinum ejus qr ut ellipſeos axis minor ad axem majorem, habebitur corporis locus correctus p. ([t]) Si quando angulus $N - AOQ + D$ negativus eſt, debet ſignum + ipſius E ubique mutari in —, & ſignum — in +. Idem intelligendum eſt de ſignis ipſorum G & I, ubi anguli $N - AOQ - E + F$, & $N - AOQ - E - G + H$ negativi prodeunt. Convergit autem ſeries infinita $AOQ + E + G + I$ + &c. quam celerrimè, adeo ut vix unquam opus fuerit ultra progredi quam ad terminum ſecundum E. Et fundatur calculus in hoc theoremate, quod area APS ſit ut differentia inter arcum AQ & rectam ab umbilico S in radium OQ perpendiculariter demiſſam.

Non

(t) * Si quandò angulus $N - AQ + D$, ſeu arcus Q M, (*vid. fig. Not.*) negativus eſt, ſeu ſi punctum M, cadit infrà punctum Q, debet ſignum ipſius $+ E$, ubique mutari in —, & ſignum — in +. Quoniam enim ſuprà invenimus $E : N - AQ + D = L : L \mp \text{coſ.}\, AQ$, ſi fuerit arcus $N - AQ + D$, negativus, debet quoque arcus E eſſe negativus, & arcus A q erit $AQ - E$. Idem intelligendum eſt de ſignis ipſorum G & I &c. ob eandem rationem.

Digitized by Google

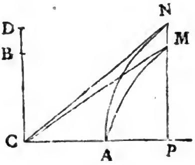
Non diſſimili calculo conficitur problema in hyperbolâ. Sit ejus centrum *O*, vertex *A*, umbilicus *S* & aſymptotos *O K*. Cognoſcatur quantitas areæ abſcindendæ tempori proportionalis. Sit ea A, & fiat conjectura de poſitione rectæ *S P*, quæ aream *A P S* abſcindat veræ proximam. Jungatur *O P*, & ab



A & *P* ad aſymptoton agantur *A I*, *P K* aſymptoto alteri parallelæ, & (a) per tabulam logarithmorum dabitur area

(a) 374. Diximus ſuperius (*Theor. IV. de Hyp.* p. 124.) aream inter aſymptotum, Hyperbolam, ordinatam in vertice erectam & aliam ordinatam comprehenſam, eſſe Logarithmum abſciſſæ, idem verò, more veterum demonſtrare & ad hanc Propoſitionem propius accommodare hic non pigebit.

Lemma. Sint duæ hyperbolæ A M, A N quarum centrum C, ſemidiameter communis A C, ſemidiametri conjugatæ C B, C D, per punctum quodvis P agatur P M N ordinatim ad diametrum C P applicata, hyperbolis occurrens in punctis M & N, junganturque C M, C N ſpatia hyperbolica A M P, A N P & ſectores A M C, A N C ſunt ad invicem in ratione ſemidiametrorum conjugatarum C B, C D, vel etiam ordinatarum P M, P N. Nam ex naturâ hyperbolæ (*Theor. II. de Hyp.*) $PM^2 : CB^2 = CP^2 - CA^2 : CA^2$, & $PN^2 : CD^2 = CP^2 - CA^2 : CA^2$; undè $PM^2 : CB^2 = PN^2 : CD^2$, & $PM^2 : PN^2 = CB^2 : CD^2$, ac $PM : PN = CB : CD$, cùmque idem ſemper eveniat quâcumque in parte cadat ordinata P M N, liquet ſpatia hyperbolica A M P, A N P eſſe inter ſe ut C B ad C D, vel P M ad P N, ſed triangula C P M, C P N ſunt ad invicem ut P M ad P N vel C B ad C D; ergò $CPM - AMP : CNP - ANP = AMC : ANC = PM : PN = CB : CD$. Q. e. D.



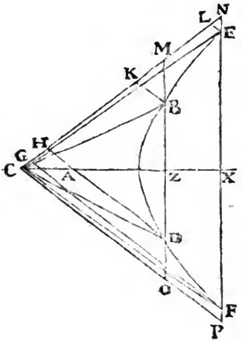
375. *Coroll.* Si duæ ſemidiametri conjugatæ C A, C D fuerint æquales, hyperbola A N erit æquilatera; quarè inventâ quadraturâ ſpatiorum hyperbolicorum A N P vel A N C in hyperbolis æquilateris, habebitur etiam quadratura ſpatiorum hyperbolicorum A M P vel A M C in aliis quibuſvis hyperbolis.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

376. *Lemma.* Si ſuper hyperbolæ E B D F aſymptoto C N ſumantur quatuor partes CG, CH, CK, CL, ut ſit CG : CH = CK : C L ducantur autem rectæ G F, HD, KB, L E alteri aſymptoto C P parallelæ, & hyperbolæ occurrentes in punctis F, D, B, E, junganturque ſemidiametri C F, C D, C B, C E, ſectores hyperbolici C B E, C D F erunt æquales. Agantur enim rectæ B D, E F aſymptotis occurrentes in punctis M, O, N, P, & ob parallelas K B, H D, C O erit M B : M K = D O : C H, & ob parallelas L E, G F, C P erit etiam N E : N L = F P : C G; ſed, ex naturâ hyperbolæ inter aſymptotos (*Lem. I. de Conic. pag.* 115.) M B = D O, & N E = F P, undè M K = C H & N L = C G; Porrò C G : C H = C K : C L (*per hyp.*) hoc eſt, N L : M K = C K : C L = L E : K B, ex naturâ hyperbolæ intrà aſymptotos (*Theor. I V. de Hyp. p.* 124.) rectæ igitur N E, M B, hoc eſt, E F, B D erunt parallelæ, ac proindè, linea per earum medium X, Z ducta erit Diameter, tranſibitque per centrum C; (*Lem. I V. de Conic. p.* 119.) unde facile deducitur trapezia M X Z N, O X Z P forte æqualia ut & areæ mixtilineæ B X Z E, D X Z F, unde ſingulis ex correſpondenti trapezio ſubſtractis relinquentur areæ M B E N & O D F P æquales, quibus addantur Triangula M B C, O D C, æqualia ob baſes æquales M B, O D in eâdem linea poſitas, & ob vertices ad idem punctum C concurrentes, erunt æquales areæ C M N E B C, C O P F D C, ex quibus denique ſubſtractis Triangulis N E C, P F C quæ æqualia ſunt ob baſes æquales N E, P F in eâdem lineâ poſitas, & ob vertices ad idem punctum C concurrentes, ſupererunt ſectores hyperbolici C B E, C D F inter ſe æquales. Q. e. D.

377. *Lemma.* Si per puncta quævis aſymptoti C L, agantur duæ rectæ G F, H D alteri aſymptoto C P parallelæ, & hyperbolæ occurrentes in F & D, junganturque ſemidiametri C F, C D, trapezium hyperbolicum G F D H æquatur ſectori C F D. Nam, ex naturâ hyperbolæ inter aſymptotos, triangula C H D, C G F, æquantur ob æquales angulos G & H & latera reciproca (*per Theor. I V. de Hyp. p.* 124.) adeóque ſublato communi trian-



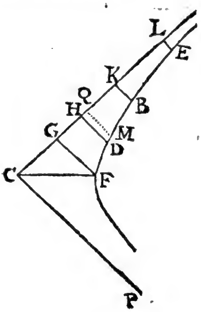
gulo C G A, reſidua ſpatia G A D H, C A F erunt æqualia, quibus ſi addatur idem ſpatium hyperbolicum D A F, ſummæ G F D H, C F D erunt æquales. Q. e. D.

378. *Coroll.* 1. Hinc iiſdem poſitis quæ (num. 376.) trapezia hyperbolica G F D H, K B E L ſunt æqualia.

379. *Coroll.* 2. Si aſymptoti partes C G, C H, C K fuerint continuè proportionales, duo ſectores C F D, C D B & duo trapezia hyperbolica G F D H, H D B K, æquantur. Eâdem enim ratione quâ num. 376. oſtenditur rectam B F tangenti per punctum D ductæ eſſe parallelam. Undè ſi ſuper aſymptoto C L ſumantur partes quotcumque C G, C H, C K, C L &c. in continuâ progreſſione geometricâ, & ex punctis G, H, K, L &c. agantur rectæ G F, H D, K B, L E &c. alteri aſymptoto parallelæ, trapezia hyperbolica G F D H, H D B K, K B E L erunt æqualia; & viciſſim ſi trapezia illa æquantur, erunt rectæ C G, C H, C K, C L &c. in continuâ progreſſione geometricâ.

380.

380. *Coroll.* 3. Sit hyperbola F D B E æquilatera, cujus centrum C, aſymptotus CL, ſemiaxis tranſverſus C F, capiantur in aſymptoto partes C G, C H, C K, C L, &c. in continuâ progreſſione geometricâ, aganturque G F, H D, K B, L E &c., alteri aſymptoto C P parallelæ, trapezia hyperbolica G F D H, H D B K, K B E L &c. erunt æqualia; quarè eorum ſummæ, ſcilicet o, G F D H, G F B K, G F E L, &c. erunt in continuâ progreſſione arithmeticâ. Si itaque C G ſit unitas, C H, C K, C L, &c. numeri, erunt o, G F D H, G F B K, G F E L, illorum numerorum logarithmi.



381. *Coroll.* 4. Itaque per logarithmorum hyperbolicorum tabulas, inveniri poſſunt trapeziorum quorumvis G F D H, B G F K, &c. areæ; Sumptâ enim C G pro unitate, quærantur in numeris valores rectarum C H, C K, &c. & horum numerorum logarithmi exhibebunt trapezia hyperbolica G F D H, G F B K, &c.

382. *Coroll.* 5. Sit $CG = 1$, $GH = x$; $CH = 1 + x$, $HD = y$, & erit, ex naturâ hyperbolæ inter aſymptotos $\overline{1 + x} \times y = 1$, adeóque $y = \frac{1}{1 + x}$, & trapezii G F D H elementum D H Q M ſeu $y\,dx = \frac{dx}{1 + x}$; Si igitur $L.\,\overline{1 + x}$, denotet logarithmum numeri $1 + x$, erit $L.\,\overline{1. + x} = GFDH$; & elementum logarithmi ſeu $d.\,L.\,\overline{1 + x} = y\,dx = \frac{dx}{1 + x}$. Et ſimiliter elementum logarithmi numeri cujuſvis z ſeu $d.\,L.\,z = \frac{dz}{z}$.

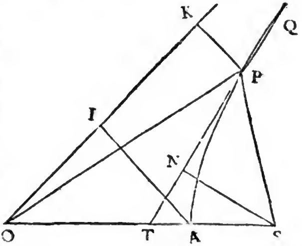
383. *Coroll.* 6. Cum ſit $y = \frac{1}{1 + x}$; ſi peragatur diviſio, erit $y = 1 - x + x^2 - x^3 + x^4$ &c. in infinitum, ac proindè $y\,dx = dx - x\,dx + x^2\,dx - x^3\,dx$ &c. in infinitum, & ſumptis utrinque fluentibus $S.\,y\,dx = GFHD = L.\,\overline{1 + x} = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{5}x^5$ &c. in infinitum. Si autem numerus propoſitus ſit unitate minor, ſeu $1 - x$, eodem modo invenietur ipſius logarithmus $S. - y\,dx = L.\,\overline{1 - x} = -x - \frac{1}{2}x^2 - \frac{1}{3}x^3 - \frac{1}{4}x^4 - \frac{1}{5}x^5$ &c.

384. Scholium. Obſervandum eſt logarithmos hyperbolicos Neperi à logarithmis Briggii quibus vulgò utimur differre; verùm cum hyperbolici ſint ſemper ad Briggianos ſeu vulgares in eâdem conſtanti ratione, nimirum logarithmus hyperbolicus numeri denarii 2. 302585 eſt ad logarithmum Briggianum numeri denarii 1. 000000, ut quilibet logarithmus hyperbolicus ad ejuſdem numeri logarithmum Briggianum, facile eſt hyperbolicos ad Briggianos & contrà Briggianos ad hyperbolicos reducere, adeóque hyperbolarum quadraturam per logarithmos etiam vulgares invenire. Si dividatur 1. 000000, per 2. 302585 &c., quotiens 0. 4342948 &c. per logarithmum quemvis Hyperbolicum multiplicatus, dabit logarithmum vulgarem, & viceversâ, ſi logarithmus quilibet vulgaris per 0. 43429481 & dividatur, quotiens erit logarithmus hyperbolicus.

* *Et per tabulam.* (381. 384.)

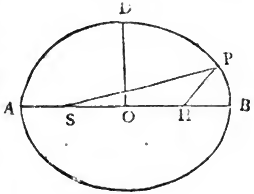
De Motu Corporum Liber Primus. Prop. XXXI.

AIKP, (b) eique æqualis area *OPA*, quæ ſubducta de triangulo *OPS* relinquet aream abſciſſam *APS*. Applicando areæ abſcindendæ A & abſciſſæ *APS* differentiam duplam 2 *APS* — 2 A vel 2 A — 2 *APS* ad lineam *SN*, quæ ab umbilico *S* in tangentem *TP* perpendicularis eſt, (c) orietur longitudo



chordæ *PQ*. Inſcribatur autem chorda illa *PQ* inter *A* & *P*, ſi area abſciſſi *APS* major ſit areâ abſcindendâ A, ſecus ad puncti *P* contrarias partes; & punctum *Q* erit locus corporis accuratior. Et computatione repetitâ invenietur idem accuratior in perpetuum.

Atque his calculis problema generaliter conſit analyticè. Verùm uſibus aſtronomicis accommodatior eſt calculus particularis qui ſequitur. Exiſtentibus *AO*, *OB*, *OD* ſemiaxibus ellipſeos, & L ipſius latere recto, ac D differentia inter ſemiaxem minorem *OD* & lateris recti ſemiſſem $\frac{1}{2}$ L; quære tum angulum Y, cujus ſinus ſit ad radium ut eſt rectangulum ſub differentia illa D, & ſemiſumma axium *AO* + *OD* ad quadratum axis majoris *AB*; tum angulum Z, cujus ſinus ſit ad radium ut eſt



du-

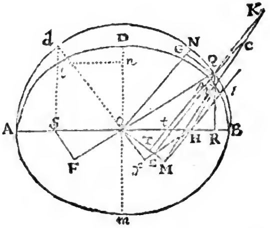
* (b) *Eique æqualis area OPA* (377).

* (c) *Orietur longitudo*. Nam cum arcus PQ exiguus ſit, accipi poteſt pro chordâ PQ ſeu parte PQ tangentis TP productæ; undè triangulum rectilineum SQP, quam proximè æquatur differentiæ ſpatiorum hyperbolicorum APS, ASQ ſeu *A*; ſed triangulum rectilineum SQP $= \frac{PQ \times SN}{2}$, ergò $\frac{PQ \times SN}{2} = A - APS$, vel $= APS - A$, ac proindè $PQ = \frac{2A - 2APS}{SN}$ vel $= \frac{2APS - 2A}{SN}$; prout area *A* major vel minor eſt areâ APS.

Digitized by Google

duplum rectangulum ſub umbilicorum diſtantiâ *SH* & differentiâ illâ D ad triplum quadratum ſemiaxis majoris *AO*. His angulis ſemel inventis, locus corporis ſic deinceps determinabitur. Sume angulum T proportionalem tempori quo arcus *BP* deſcriptus eſt, ſeu motui medio (ut loquuntur) æqualem; & angulum V, primam medii motus æquationem, ad angulum Y, æquationem maximam primam, ut eſt ſinus dupli anguli T ad radium; atque angulum X, æquationem ſecundam, ad angulum Z, æquationem maximam ſecundam, ut eſt cubus ſinus anguli T ad cubum radii. Angulorum T, V, X vel ſummæ T+X+V, ſi angulus T recto minor eſt, vel differentiæ T+X−V, ſi is recto major eſt rectiſque duobus minor, æqualem cape angulum *BHP*, motum medium æquatum; & ſi *HP* occurrat ellipſi in *P*, actâ *SP* abſcindet aream *BSP* tempori proportionalem quam proximè. Hæc praxis ſatis expedita videtur, propterea quod angulorum perexiguorum V & X, in minutis ſecundis, ſi placet, poſitorum, figuras duas treſve primas invenire ſufficit. Sed & ſatis accurata eſt ad theoriam planetarum. Nam in orbe vel Martis ipſius, cujus æquatio centri maxima eſt graduum decem, error vix ſuperabit minutum unum ſecundum. Invento autem angulo motus medii æquati *BHP*, angulus veri motus *BSP* & diſtantia *SP* in promptu ſunt per methodum notiſſimam. (d) Hacte-

(d) 385. Ellipſeos quam Planeta deſcribit ſit Centrum O, umbilici S, H, & ſemiaxes O B, O D; Sole in S poſito umbilicus alter H erit ferè centrum medii motûs Planetæ, (372) id eſt, ſi ex umbilico H agatur linea H I, quæ cum lineâ apſidum O B, conſtituat angulum I H B anomaliæ mediæ æqualem, recta illa H I, ferè tranſibit per locum Planetæ in orbitâ ellipticâ parum excentricâ revolventis, tranſeat autem H P, per locum verum Planetæ P & erit angulus P H I, anomaliæ mediæ I H B, addendus (vel detrahendus) ut motus medius æquatus B H P habeatur, & angulus P H I aut ipſi æquipollens dicetur æquatio tota medii motus, quam in duas partes dividit NEWTONUS, quarum unam primam æquationem & al-



 teram

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XXXI.

Hactenus de motu corporum in lineis curvis. Fieri autem poteſt ut mobile rectâ deſcendat vel rectâ aſcendat, & quæ ad iſtiuſmodi motus ſpectant, pergo jam exponere.

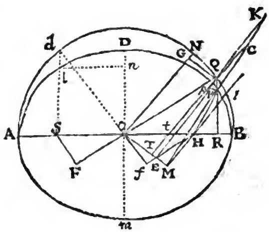
teram ſecundam æquationem vocat; determinat ſingulas in iis punctis ubi maximæ ſunt, & rationem maximæ æquationis ad aliam in dato quovis puncto adhibendam indicat.

Præcedentes Methodos illuſtrarunt demonſtrationibus & exemplis Keillius & Gregorius, hanc non minus ingenioſam intactam reliquerunt, veſtigiis Newtoni inſiſtere conabimur, & aperire quibus fundamentis nitatur hæc approximatio.

386. Producatur I H in M donec occurrat perpendiculo O M, à centro O in ipſam I H demiſſo jungaturque M P, erit angulus P H I æqualis angulis P M H & M P H, quorum ſinus erunt inter ſe ſicut P H ad M H; ſed cum M H ſit ſemper minor O H diſtantia centri à foco, ſitque P H diſtantia foci H ad punctum P Ellipſeos, exigua erit M H reſpectu H P, ideoque minimus eſt angulus M P H reſpectu anguli P M H, illum itaque negligit, & hunc ſolum P M H ut æquationem totam conſiderat Newtonus.

Ducto verò ut ſuperius expoſitum eſt, circulo B Q N A ſuper magnum axem Ellipſeos A B, & ex P loco Planetæ ductâ P R perpendiculari in eum magnum axem eâque P R productâ donec ſecet circulum B Q N A in Q; ducatur T Q perpendicularis in O M (ideoque parallela lineæ I M) & producatur ita ut ſecet in C lineam M P etiam productam, erit (*per 29. 1. El.*) angulus T C M æqualis Angulo C M H ſive P M H, eritque T C M æquatio totalis motus medii: Ducatur pariter Q O quæ producatur in F donec ſecetur à perpendiculo S F à foco S in quo ſol verſatur ducto, ſumaturque arcus Q N æqualis S F & ducatur N O, erit N O B anomalia media (*369*) & erit N O parallela lineis I M, T Q; ſit Q G perpendicularis ducta ex Q in O N, erit Q G ſinus arcus Q N, & erit O T illi ſinui æqualis.

Ducatur denique in O, O f, perpendicularis in lineam O Q, ideoque parallela lineæ S F, & ex H in illam ducatur perpendiculum H f, Triangulum O f H æquale erit Triangulo S O F, ob lineas æquales S O, O H, angulos rectos in F & f, & angulos æquales in S & O ob parallelas S F, O f; erit ergo



O f = S F = Q N; Concurrant lineæ f H, O M in E, & ex E ducatur per Q linea E Q ſecans M C (productam ſi neceſſe ſit) in K, angulus T C M erit æqualis angulis E K M & K Q C ſive T Q E (*per 32. 1. Elem.*) ſic ergo Newtonus dividit æquationem totam T C M in angulos E K M, T Q E, quos ſeparatim determinat.

Prima ergo æquatio determinatur, ductâ H M ex foco quæ faciat cum axi angulum anomaliæ mediæ æqualem, & ductâ ex centro lineâ O M in illam perpendiculari, tum etiam ductâ ex foco lineâ H f quæ faciat cum axi angulum anomaliæ excentri æqualem, ſecetque lineam O M (productam ſi neceſſe ſit) in E; ex M ducatur linea per locum planetæ P & ex E ducatur linea per Q punctum correſpondens in circulo, & concurrant illæ lineæ in K, & angulus E K M eſt prima æquatio; & ſi ſit K M radius, M E eſt ſinus illius æquationis,

Ut ergo determinetur M E, obſervandum angulum M H E eſſe æqualem angulo N O Q, cum ſit N O parallela M H & Q O parallela E H per conſtructionem, ſumpto verò M H pro radio erit M E tangens ejus anguli M H E quæ in exiguo angulo pro Arcu ipſo ſumi poteſt, ideoque Radius O N ſive O B erit ad arcum N Q ut M H ad lineam:

Digitized by Google

neam M E; Dicatur autem angulus anomaliæ mediæ *T* erit (per conſtruct.) H O M ejus complementum ad duos Rectos, fiatque ut Radius (qui in toto hoc calculo ſumitur æqualis O B) ad Coſ. *T* ſic O H ad M H $= \frac{OH \times Coſ.\, T}{OB}$; Præterea arcus NQ = SF, & eſt O Q (ſive O B) ad Q R ut eſt O S (ſive OH) ad SF ideoque SF ſive NQ $= \frac{OH \times QR}{OB}$ unde proportio ſuperius inventa OB : NQ = MH : ME in hanc vertitur OB : $\frac{OH \times QR}{OB} = \frac{OH \times Coſ.\, T}{OB}$: ME $= \frac{OH^2 \times QR \times Coſ.\, T}{OB^3}$ ſive quia (*per nat. Ellipſ.*) $OH^2 = OB^2 - OD^2 = \overline{OB + OD} \times \overline{OB - OD}$ (*per 6. 2. Elem.*) eſt ME $= \frac{\overline{OB + OD} \times \overline{OB - OD} \times QR \times Coſ.\, T}{OB^3}$.

Radius verò K M hac ratione determinatur: Ducatur ex P linea P p, perpendicularis in T Q ac proinde parallela lineæ M E, ejus portio terminata in linea E K eſt quidem ita proximè æqualis ipſi P p, ut P p pro illa ſumi poſſit, eſt verò ob parallelas M E : P p = K M : K P.

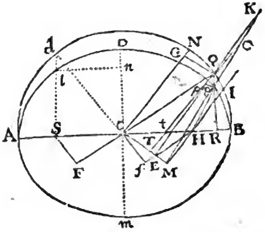
Facile autem determinatur ratio M E ad P p, nam angulus T Q R eſt complementum anomaliæ mediæ Q t R, unde eſt, Radius O B, ad Coſ. *T* ſicut Q P ad P p $= \frac{Coſ.\, T}{OB} \times QP$, eſt autem Q P differentia inter Q R & P R, eſt verò Q R ad P R ut ſemiaxis major O B ad minorem O D, eſt ergo $PR = \frac{OD \times QR}{OB}$ & QP = QR $= \frac{OD \times QR}{OB} = \frac{QR}{OB} \times \overline{OB - OD}$, itaque $Pp = \frac{Coſ.\, T \times QR}{OB^2} \times \overline{OB - OD}$, ideoque ME ad Pp ſicut $\frac{\overline{OA + OD} \times \overline{OB - OD} \times QR \times Coſ.\, T}{OB^3}$ ad $\frac{\overline{OB - OD} \times QR \times Coſ.\, T}{OB^2}$ utroque autem termino multiplicato per $\frac{OB^3}{\overline{OB - OD} \times QR \times Coſ.\, T}$ ſupereſt ratio O B + O D ad O B, æqualis rationi M E ad P p ſive K M ad K P, unde convertendo eſt O D : O B + O D = K M − K P (M P) : K M; ſive quia O B + O D eſt ferè 2 O B, eſt O D : 2 O B = M P : KM.

Erit autem M P proximè æqualis lineæ T p, hæc verò lineæ Q t, cum enim parva ſit excentricitas, Q p compenſat ferè partem neglectam T t, eſt verò Q t parallela N O, ideoque eſt Q t R æqualis anomaliæ mediæ, ergo eſt ſinus anomaliæ mediæ ad radium ut Q R ad Q t, ſive ſin. *T* : O B = Q R : Q t $= \frac{OB \times QR}{ſin.\, T} =$ M P unde cum ſit O D ad 2 O B ſicut M P ſive $\frac{OB \times QR}{ſin.\, T}$ ad K M erit K M $= \frac{2\, OB^2 \times QR}{OD \times ſin.\, T}$, ſed inventa erat M E $= \frac{\overline{OB + OD} \times \overline{OB - OD} \times QR \times Coſ.\, T}{OB^3}$ multiplica ergo valores K M & M E per $\frac{2\, ſin.\, T \times OD}{QR}$ eritque K M ad M E ſive radius ad ſinum anguli K ut $4OB^2$ (ſive AB^2) ad $\frac{2OD \times \overline{OB + OD} \times \overline{OB - OD} \times ſin.\, T \times Coſ.\, T}{OB^3}$ & cum ſit ſemi latus rectum $\frac{1}{2} L = \frac{OD^2}{OB}$, erit $OD - \frac{1}{2} L = OD - \frac{OD^2}{OB} = \frac{OD}{OB} \times \overline{OB - OD}$, vocetur *D* ea differentia ſemiaxis minoris & ſemilateris recti, & ſubſtituto *D* loco $\frac{OD}{OB} \times \overline{OB - OD}$ erit Radius ad ſinum anguli K ut AB^2 ad $D \times \overline{OB + OD} \times \frac{2\, Coſ.\, T \times ſin.\, T}{OB^2}$.

387. Ergo in quovis gradu anomaliæ mediæ erit, eſt ſemper Radius ad AB^2 ut ſinus Anguli K, ad $D \times \frac{OB + OD}{OB} \times \frac{2\, Coſ.\, T \times ſin.\, T}{OB}$ cum verò ratio Radii ad AB^2 ſit conſtans, hæc altera etiam erit conſtans, ideoque in omni caſu ſinus Anguli K ubi anomalia media eſt *T*, erit ad ejus ſinum ubi anomalia media erit *t*, ut $D \times \overline{OB + OD}$

$\times \frac{2\,\text{Coſ.}\,T\,\text{ſin.}\,T}{OB^2}$ ad $D \times OB + OD \times \frac{2\,\text{Coſ.}\,t \times \text{ſin.}\,t}{OB^2}$ ſive multiplicando utrumque terminum per conſtantes $\frac{OB}{D \times OB + OD}$ ut $\frac{2\,\text{Coſ.}\,T \times \text{ſin.}\,T}{OB}$ ad $\frac{2\,\text{Coſ.}\,t\ \text{ſin.}\,t}{OB}$ ſed conſtat ex Trigonometricis, quod duplum facti ſinus anguli dati cujuſvis per ejus Coſinum, diviſum per radium, eſt æquale ſinui Anguli qui eſt duplus ejus anguli dati, ergo ſinus angulorum K in diverſis anomaliæ mediæ gradibus ſunt inter ſe ut ſinus dupli anguli anomaliæ. Unde ſequitur, quod cum duplum anomaliæ mediæ 45. graduum ſit 90. ejuſque ſinus ſit æqualis Radio ſeu ſinui totali, angulus K erit maximus in 45° gradu, ſive eſt illic anomaliæ mediæ æquatio prima maxima, & ſi ea data ſit, invenientur in aliis gradibus æquationes adhibendæ, dicendo ut Radius ad ſinum dupli anomaliæ mediæ ita ſinus æquationis maximæ primæ ad ſinum æquationis quæſitæ, ſive (quia hic de minimis angulis agitur qui ſunt inter ſe ut ſui ſinus) ita ipſa æquatio maxima ad æquationem quæſitam: Invenietur autem facile maxima illa æquatio, cum enim ſit Radius ad AB^2 ut ſinus K ad $D \times \frac{OB + OD \times \text{ſin.}\,2T}{OB}$ ſi T ſit 45°, ſin. 2 T eſt ipſe Radius OB; Eſt ergo Radius ad AB^2 ut ſinus K ad $D \times \frac{OB + OD}{OB} \times OB$ ſive, ut ſtatuit Newtonus, eſt Radius ad ſinum æquationis primæ maximæ ut AB^2 ad $D \times OB + OD$. Quod erat 1°. *Dem.*

388. Secunda æquatio TQE continetur lineis ductis à puncto Q circuli BQNA ad puncta T & E lineæ OM quæ perpendiculariter in ON lineam motus medii ducitur, eſt vero OT æqualis ſinui arcus $QN = SF = Of$, & ſi ex f ducatur ad focum linea f H, interſectio ejus lineæ f H (productæ ſi neceſſe ſit) cum linea OM dat alterum punctum E. In hâc ergo æquationis parte eſt QE radius, TE ſinus, eorumque ratio eſt inveſtiganda, eſt verò QE paulo major quam QT & QT eſt æqualis OG, quâ paulò major eſt ON ſive OB unde QE pro OB commodè aſſumi poteſt, quamvis eâ ſit paulo minor;

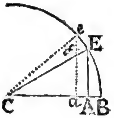


Ut autem valor lineæ TE aſſignetur, notandum eſt quod cum ſit OM in ON perpendicularis, & Of in OQ, eſt angulus fOM æqualis angulo NOQ.

Cognoſcetur ergo arcus menſurans angulum fOM ſive fOE, aſſumpto Of pro radio, dicendo radius ON ſive OB ad arcum NQ ut Of (ſive NQ) ad arcum menſurantem angulum fOE qui ideo erit $\frac{NQ^2}{OB}$, ſecans illius arcus eſt OE, cum verò TO ſit ſinus arcus NQ (æqualis Of) feratur longitudo Of ſecundum lineam OM, cadet tantùm ultra T quantum arcus NQ ſuum ſinum excedit, & tantùm citra E quantùm radius ille Of à ſecante anguli cujus arcus eſt $\frac{NQ^2}{OB}$ deficit; Dato ergo arcu NQ, inveniatur ejus exceſſus ſuper ejus ſinum, & dato arcu $\frac{NQ^2}{OB}$ inveniatur exceſſus ejus ſecantis ſuper radium NQ ſive Of & inventis his duobus habebitur linea TE quæſita.

Lemma I. *Dato Arcu invenire ejus ſinum.* Sit radius CB, r, ſinus quæſitus EA, x, ejus Coſinus CA, $\sqrt{rr - xx}$, Arcus datus BE, v, ejus fluxio Ee ſit dv.

Ducto radio Ce, & radio proximo Ce & ſinu arcus Be, ductoque ex E in F perpendiculo, erit e f fluxio ſinus quæſiti ſive dx. Triangula verò ECA, e f E, pro ſimilibus ſunt habenda; nam angulus f EA eſt rectus



rectus ut & angulus C E e quia circulus eſt perpendicularis in radium, & dempto communi C E f remanent C E A & f E e æquales, & ob rectos in f & A, angulus tertius f e E æqualis erit tertio E C A unde habetur hæc proportio, C A ad C E ut e F ad e E, ſive $\sqrt{rr - xx} : r = dx : dv$ unde eſt $dv = \frac{r\,dx}{\sqrt{rr - xx}}$ & $dv^2 = \frac{rr\,dx^2}{rr - xx}$ ſive $rr^2 - xx^2 = \frac{rr\,dx^2}{dv^2}$.

Jam verò ſupponatur valorem x hac ſerie exprimi, $x = Av + Bv^3 + Cv^5$ &c. erit $dx = Adv + 3Bv^2dv + 5Cv^4dv$ &c.

$$\& dx^2 = A^2dv^2 + 6ABv^2dv^2 + 9BBv^4dv^2 + 10ACv^4dv^2 \ \&c.$$

$$\& xx = A^2v^2 + 2ABv^4 + BBv^6 + 2ACv^6 \ \&c.$$

unde $rr - xx = rr - A^2v^2 - 2ABv^4$ &c.

$$\& \frac{rrdx^2}{dv^2} = rrA^2 + 6rrABv^2 + 9rrBBv^4 + 10ACv^4 \ \&c.$$

undè hæ duæ ſeries æquales ſunt, & terminorum A, B, C &c. valor ex comparatione terminorum correſpondentium harum ſerierum eruitur, erit ergo

$$- rr - A^2v^2 - 2ABv^4 \ \&c.$$
$$= rrAA + 6rrABv^2 + 9rrBBv^4 + 10rrACv^4 \ \&c.$$

undè erit $rr = rrAA$, ideoque $A = 1$.

$- A^2v^2 = 6rrABv^2$, undè $-1 = 6rrB$

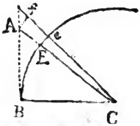
$$\& B = \frac{-1}{6rr}$$

$-2ABv^4 = 9rrBBv^4 + 10rrACv^4$, ſive ſubſtitutione facta & terminis per v^4 diviſis $+\frac{2}{6rr} = \frac{9}{36rr} + 10rrAC$, ſive

$$10rrAC = \frac{3}{36rr}$$

$$\& C = \frac{3}{10 \times 36r^4} = \frac{r}{2 \times 3 \times 4 \times 5r^4}, \&c.$$

undè ſeries $Av + Bv^3 + Cv^5$ &c. $= x$, ad hanc redit $x = v - \frac{v^3}{2 \times 3r^2} + \frac{v^5}{2 \times 3 \times 4 \times 5r^4}$ &c. quæ ſeries facile continuatur, & arcu exiſtente parvo citiſſimè convergit.



Lemma II. *Dato arcu invenire ſecantem.* Sit ut prius radius C B, r, ſecans quæſita C A, y, Tangens B A $\sqrt{yy - rr}$, Arcus datus B E, v, ejus fluxio E e, dv. Ducatur ex centro ſecans C a, proxima propoſitæ, & radio C A centro C, deſcribatur arcus A f erit f A fluxio ſecantis quæſitæ ſive dy, erunt autem arcus E e & A f ut eorum radii C E, C A ideoque eſt $r : y = dv : \text{A f} = \frac{y\,dv}{r}$; præterea Triangula ACB, a A f, ſunt ſimilia, nam ob angulum rectum f A C angulus f A a eſt complementum anguli C A B ſive eſt æqualis angulo A C B, anguli verò B & f ſunt ambo æquales utpote recti, eſt ergo C B : B A = A f : f a, ſive $r : \sqrt{yy - rr} = \frac{y\,dv}{r} : dy$ & quadrando, $rr : yy - rr = \frac{yy\,dv^2}{rr} : dy^2$ ſive $r^4\frac{dy^2}{dv^2} = y^4 - rry^2$, Fingatur ergo eſſe $y = A + Bv^2 + Cv^4 + Dv^6$ &c. eſt $dy = 2Bvdv + 4Cv^3dv + 6Dv^5dv$ &c.

$$\& dy^2 = 4B^2v^2dv^2 + 16BCv^4dv^2 + 16C^6v^6dv^2 + 24DBv^6dv^2 \ \&c.$$

$$\& y^2 = A^2 + 2ABv^2 + 2ACv^4 + BBv^4 \ \&c.$$

$$\& y^4 = A^4 + 4A^3Bv^2 + 6A^2B^2v^4 + 4A^3Cv^4 \ \&c.$$

eſt ergo $\frac{r^4dy^2}{dv^2}$

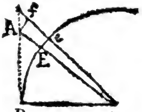
$$= 4r^4B^2v^2 + 16r^4BCv^4 + 16r^4C^6v^6 + 24r^4DBv^6 \ \&c.$$

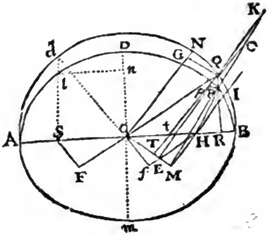
& $y^4 - rry^2$

$$= A^4 + 4A^3Bv^2 + 6A^2B^2v^4 - r^2A^2 - 2r^2ABv^2 + 4A^3Cv^4 - 2r^2ACv^4 - r^2B^2v^4 \ \&c.$$

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XXXI.





Unde collatis terminis correſpondentibus harum ſerierum eſt $A^4 - r^2 A^2 = o$, ideoque $A^2 = r^2$, & $A = r$; eſt $4r^4 B^2 v^2 = 4A^3 B v^2 - 2r^2 A B v^2$, ſive diviſis omnibus terminis per $B v^2$ & poſito r loco A; $4r^4 B = 4r^3 - 2r^3$

ideoque eſt $B = \frac{1}{2r}$,

eſt $16r^4 BCv^4 = 6A^2Bv^4 + 4A^3Cv^4 - 2r^2ACv^4 - r^2BBv^4$, quæ diviſa per v^4 ſubſtitutiſque valoribus A & B dant

$8r^3C = \frac{6}{4} + 4r^3C - 2r^3C - \frac{1}{4}$ unde eſt

$6r^3C = \frac{5}{4}$ & $C = \frac{5}{2\times3\times4r^3}$ &c.

Series ergo ad ſecantis valorem exprimendum $A + Bv^2 + Cv^4$ &c. in hanc vertitur $r + \frac{v^2}{2r} + \frac{5v^4}{2\times3\times4r^3}$ &c.

Quæ ſatis prompte convergit ſi modo arcus v ſit exiguus, ut iſto in caſu.

HIS poſitis, invenientur commodè partes lineæ T E, ſive ſinus ſecundæ æquationis, ea enim conſtat ex differentia inter arcum N Q & ejus ſinum (dato radio O B) & ex differentia inter eum ipſum arcum N Q ſumptum ut radium in angulo f O E & illius anguli ſecantem.

Primum ergo differentia inter arcum N Q & ejus ſinum, ex primâ ſerie invenitur, ſit enim $v = NQ$ & $r = OB$, ſinus arcus N Q per eam ſeriem invenitur $NQ - \frac{NQ^3}{2\times3OB^2}$ &c. & omiſſis reliquis terminis ſeriei, hic admodum exiguis, liquet differentiam inter arcum N Q & ejus ſinum eſſe terminum $\frac{NQ^3}{2\times3OB^2}$ qui erat in eâ ſerie ex arcu N Q tollendus ut obtineretur ſinus.

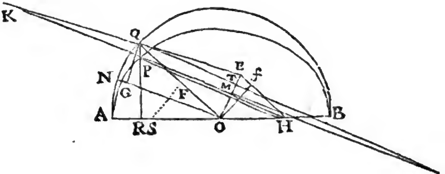
Secundo, ut differentia inter radium & ſecantem anguli f O E obtineatur, loco radii r in ſerie ſuperius inventâ valor radii O f ſive N Q eſt ſubſtituendus, & loco arcus v, valor arcus qui menſurat eum angulum & qui inventus fuit $= \frac{NQ^2}{OB}$, ergo ſeries quæ ſecantem exprimit in hanc abit $NQ + \frac{NQ^4}{2OB^2 \times NQ}$ &c. reliquis terminis ut pote minimis omiſſis, exceſſus ſecantis ſuper radium eſt $\frac{NQ^3}{2OB^2}$, qui junctus cum exceſſu arcus ſuper ſinum ſuperius invento $\frac{NQ^3}{2\times3OB^2}$ efficit ſummam $\frac{4NQ^3}{2\times3OB^2}$ ſive $\frac{2NQ^3}{3OB^2}$ pro valore ſinus æquationis ſecundæ; ſed eſt (369) ut Radius O B ad Q R ita S H ſive OH ad S F ſive N Q, ergo $NQ = \frac{OH}{OB} \times QR$ & $\frac{2NQ^3}{3OB^2} = TE = \frac{2OH^3}{3OB^5} \times QR^3$.

Itaque cum in hâc ſecundâ æquatione radius Q E ſit in omni anomaliæ gradu idem aut prope idem, & anguli ſint minimi erunt inter ſe quam proximè ut eorum ſinus T E

TE, cumque in valore TE quantitas $\frac{2OH^3}{3OB^3}$ ſit conſtans, ſinus illi ſunt inter ut QR^3, ſed QR eſt ſinus anomaliæ excentri, & in eâdem prope ſunt ratione ſinus anomaliæ mediæ, hinc illæ æquationes ſecundæ in variis anomaliæ mediæ gradibus adhibendæ, ſunt inter ſe ut cubi ſinuum anomaliæ mediæ. Si itaque ſumatur anomalia media 90. graduum ejus ſinus eſt ipſe Radius, eritque illic maxima æquatio, quæ erit ad aliam quamvis, ut cubus Radii ad cubum ſinus anomaliæ mediæ ipſi convenientis ut ſtatuit NEWTONUS.

Ut verò determinetur hæc æquatio ubi eſt maxima, notandum quod ſi in foco S erigatur uſque ad Ellipſim ordinata S l ea erit æqualis ſemi lateri recto, & ſi ducatur, l n ordinata in minorem axem erit l n = O S ſive O H, & D n erit differentia ſemi lateris recti & minoris axis quam NEWTONUS vocat *D*, & ex natura Ellipſeos erit AO^2 ſive $OB^2 : ln^2\,(OH^2) = OD^2 : Dn \times nm$ (ſive $D \times nm$) ſed n m eſt ferè axi minori 2 O D æqualis, ergo erit $OB^2 : OH^2 = OD^2 : D \times 2OD$ & $OH^2 = \frac{2D \times OB^2}{OD}$, quo poſito valor $TE = \frac{2OH^3}{3OB^3} QR^3$ eſt æqualis $\frac{2OH \times 2D}{3OB^3 \times OD} \times QR^3$ vel quia $2OH = SH$ eſt $TE = \frac{2D \times SH}{3OB^3 \times OD} QR^3$.

In nonageſimo verò gradu anomaliæ mediæ linea O M ſive O E in axem O B cadit & Q T cui ferè æqualis eſt Q E coincidit cum Q R, unde Q E pro Q R ſumi poteſt, & prætereà Q R nonnihil excedit lineam S d ſive axem minorem D O, cum non nihil citra focum cadat, minor tamen eſt radio O B, unde QR^2 pro $OB \times OD$ ſatis accuratè ſumi poteſt, ſicque valor $TE = \frac{2D \times SH}{3OB^3 \times OD} QR^3$ in hanc abit $TE = \frac{2D \times SH}{3OB^2} QE$, ſed Radius eſt ad ſinum æquationis maximæ ſecundæ ut Q E ad T E (ſive $\frac{2D \times SH}{3OB^2} \times QE$) & Q E ad $\frac{2D \times SH}{3OB^2} QE$ ſicut $4OB^2$, ad $D \times SH$, ergo æquatio ſecunda maxima invenietur dicendo ut triplum Quadrati ſemi axis majoris ad duplum Rectangulum ſub umbilicorum diſtantiâ S H & differentia *D* ſemi axis minoris & ſemi Lateris Recti, ita Radius ad ſinum ſecundæ æquationis ubi eſt maxima, & ea data reliquæ invenientur dicendo ut cubus Radii ad cubum ſinus anomaliæ mediæ propoſitæ ita hæc maxima æquatio, ad quæſitam. Q. E. D.

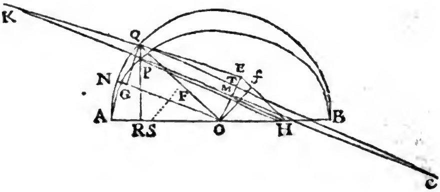


389. Annihilatur prima æquatio in 90. gradu anomaliæ mediæ & in primo, negativa fit in ſecundo quadrante, poſitiva in tertio, negativa iterum in quarto.

Etenim in 90. gradu anomaliæ mediæ O M coincidit cum O H ex conſtructione, ſicque linea f H, non amplius ſecat lineam O M in E, evaneſcit itaque M E ſinus primæ Æquationis.

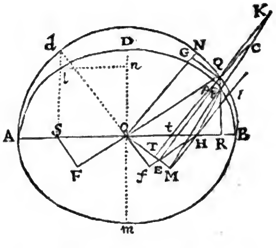
Excedat verò anomalia media 90. fiat-

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XXXI.



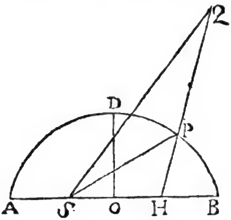
que alia figura ſecundum conſtructionem à nobis indicatam, ſit locus verus Planetæ P, deſcribatur circulus B Q N A, in magnum axem B A, ſitque P R perpendicularis à loco Planetæ in axem ducta, quæ producta ſecet circulum B Q N A in Q, ducatur Q O, in quam ex ſole S, ducatur perpendiculum S F, cui æqualis ſumatur arcus Q N, erit N O B anomalia media, ducatur in lineam O N perpendicularis O M quæ terminetur in M per perpendiculum à foco altero H ductum, erit ergo M H parallela O N & M H B æqualis anomaliæ mediæ, ex H ducatur ad Planetam linea H P, erit ergo angulus M H P angulus anomaliæ mediæ addendus ut prodeat motus medius æquatus P H B, fiat etiam ſuper O H Triangulum O f H ſimile & æquale Triangulo S F O, & producatur H f donec ſecet in E lineam O M productam; Ducatur ex Q ad T linea Q T, parallela lineæ N O ideoque etiam parallela lineæ M H, & erit O T æqualis Q G ſinui arcus Q N. Ducatur etiam linea P M quæ producta ſecabit in C lineam Q T productam & angulus C erit æqualis angulo H M C, qui erit æqualis angulis M H P & M P H (*per* 32. I^mi. *Elem.*) ſed ob exiguitatem lineæ M H reſpectu M P, omittitur angulus M P H, & angulus H M C, ſive angulus C, pro angulo M H P æquatione motus medii aſſumitur; Denique ex E per Q ducatur linea E Q K quæ lineam P M C ſecabit in K erit angulus E Q T æqualis angulis K & C: (*per* 32. *I. Elem.*) ergo ſi ex angulo E Q T ſubtrahatur angulus K remanebit angulus C, ſive æquatio quæſita, eſt vero angulus E Q T ſecunda æquatio & angulus K ſive E K M prima, ut liquet ex conſtructione; ergo in ſecundo quadrante prima æquationis pars ſubſtrahi debet ſive negativè ſumi, ſecunda verò poſitiva remanet.

In tertio quadrante hæc eadem figura deorſum convertatur ſub axe A B, liquebitque angulum M H B ſeu Anomaliam mediam, quæ hic 180° gradus ſuperat, angulo M H P ſive angulo C eſſe minuendam ut habeatur anomalia æquata P H B, ideoque cum ſit C = E Q T — K ſecunda æquatio E Q T ſubſtractivè ſumi debebit, & prima K additivè.



In ultimo denique quadrante invertatur figura prima, liquebit ex anomaliâ mediâ I H B; ſeu H M P, detrahendum eſſe angulum I H P, ſeu H M P, ſive angulum C ipſi æqualem, ut prodeat motus medius æquatus, ſed angulus C eſt ſumma utriuſque partis æquationis, nempe anguli K, & anguli.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XXXI.



guli K Q C ſive T Q E, ergo in ultimo quadrante utraque æquatio negativè aſſumitur.

390. Exemplum ſit in orbe Martis ADB, qui omnium, ſi orbem Mercurii excipias, eſt maximè excentricus. Excentricitas S O, ſit partium 141.& ſemiaxis major = 1523. 69. erit ſemiaxis minor O D = 1516. 93. ſemilatus rectum ſeu $\frac{1}{2}$ L = 1510. 184. differentia inter ſemiaxem minorem & ſemilatus rectum $\frac{1}{2}$ L, = 6. 746. = D. Differentia inter logarithmum radii & logarithmum quadrati axis A B, per tabulas.

erit	= 3. 0321367. 62.
Log. AO + OD	= 3. 3097621. 36.
Log. *D*	= 0. 7580391. 75.
Summa	= 7. 0999380. 73.

æqualis logarithmo ſinûs anguli *Y*, per primam proportionem NEWTONI, atque hinc in tabulis invenietur angulus *Y*, minutorum primorum 4′, ſecundorum 21. 14″.

Differentia inter logarithmum radii & Logarithmum facti 3 A O².

erit	= 3. 1570755. 62.
Log. facti 2 S H × *D*	= 3. 5093282. 75.
Summa	= 6. 6664038. 37.

æqualis logarithmo ſinûs anguli Z, qui per tabulas invenitur eſſe minutorum ſecundorum 100. 39″. Inventis jam æquationibus maximis *Y* + *Z*, anguli *V*, & *X*, pro quolibet anomaliæ mediæ gradu facile reperiuntur v. gr. pro 45°.

Eſt enim Log. anguli Z	= 2. 0016853. 46.
Log. cubi ſinûs 45°.	= 29. 5484550.
horum ſumma	= 31. 5501403. 46.

Ex hâc ſumma detrahe logarithmum cubi radii 30. 0000000; reſiduum 1. 5501403.46. erit logarithmus ſinûs anguli X, qui per tabulas invenietur eſſe minutorum ſecundorum 33. 41″. Quarè cum in 45°. anomaliæ gradu angulus *V*, æqualis ſit angulo *Y*, erit motus medius æquatus, ſeu angulus P H B, = 45°, 4′, 56. 55″.

Jam verò ut inveniatur anomalia vera; ſeu angulus P S B, dato angulo P H B, producatur H P ad Q ut ſit P Q = S P, & erit H Q = A B, ex natura ellipſeos, atque angulus P H B, æqualis ſummæ angulorum Q S H, S Q H; Quarè ſemiſumma laterum S H, H Q, eſt ad eorum ſemidifferentiam, hoc eſt, A O + S O, ad A O − S O, ut tangens dimidii anguli P H B, ad tangentem ſemidifferentiæ angulorum Q S H, S Q H.

Log. tang. $\frac{1}{2}$ P H B	= 9. 6181066. 717.
Log. A O − S O	= 3. 1407247. 98.
horum ſumma	= 12. 7588314. 698.
Log. A O + S O	= 3. 2212068. 41.
Differentia	= 9. 5376246. 246.

= Log. tang. Ang. $\frac{1}{2}$ Q S H − $\frac{1}{2}$ S Q H. Undè invenietur $\frac{1}{2}$ Q S H − $\frac{1}{2}$ S Q H = 19°. 1′, 35. 5″; & hinc anomalia vera = QSH − SQH (ſive − Q S P) = 38°. 3′ 11″, quam proximè; Nam ſi ex datâ hâc anomaliâ verâ, quæratur (371) anomalia media, invenietur eſſe 45° graduum quam proximè.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XXXII.

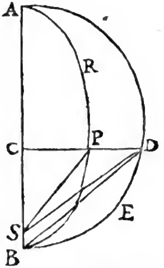
SECTIO VII.

De corporum aſcenſu & deſcenſu rectilineo.

PROPOSITIO XXXII. PROBLEMA XXIV.

Poſito quod vis centripeta ſit reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ locorum à centro, ſpatia definire quæ corpus rectà cadendo datis temporibus deſcribit.

Caſ. 1. Si corpus non cadit perpendiculariter, deſcribet id (*per corol.* 1. *prop.* XIII.) ſectionem aliquam conicam cujus umbilicus congruit cum centro virium. Sit ſectio illa conica *ARPB* & umbilicus ejus *S.* Et primo ſi figura ellipſis eſt; ſuper hujus axe majore *AB* deſcribatur ſemicirculus *ADB*, & per corpus decidens tranſeat recta *DPC* perpendicularis ad axem; actiſque *DS*, *PS* erit area *ASD* areæ *ASP*, atque ideo etiam tempori proportionalis. Manente axe *AB* minuatur perpetuo latitudo ellipſeos, &



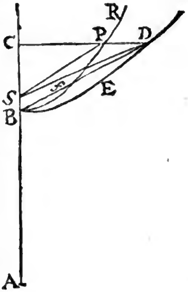
ſemper manebit area *ASD* tempori proportionalis. (e) Minuatur latitu-

(e) 391. *Lemma.* Si ſectionis conicæ latus rectum ad axem tranſverſum pertinens perpetuò minuatur, & tandem evaneſcat, manente ſectionis axe tranſverſo, omnes ad axem ordinatæ perpetuò minuuntur & tandem evaneſcunt, ac perimeter ſectionis cum axe & umbilici cum axis verticibus coincidunt. Eſt enim, (*ex conic.*) ordinatæ cujuſvis quadratum ad rectangulum abſciſſarum in ratione datâ lateris recti ad axem tranſverſum; quarè ſi manente axe tranſverſo, adeóque & abſciſſarum rectangulo, latus rectum perpetuò minuatur ac tandem evaneſcat, ordinatæ quadratum adeóque & ordinata ipſa perpetuò minuitur & tandem evaneſcit, & perimeter ſectionis conicæ cum axe coincidit. Porrò ordinata per umbilicum æqualis eſt dimidio lateri recto (*Vid. ſup. in Conicis*, *Theor. III. de Hyperbola & de Ellipſi & Cor. I. Theor. I. de Parab.*) adeóque quadratum dimidii lateris recti eſt ad rectangulum ex diſtantiis umbilici à verticibus, ut latus rectum ad axem tranſverſum, undè rectangulum ſub quartâ parte lateris recti & axe tranſverſo æquatur rectangulo ex diſtantiis umbilici à verticibus; quarè evaneſcente latere recto & manente axe tranſverſo, rectangulum ſub diſtantiis umbilici à verticibus nullum fit, & umbilicus cum proximo vertice coincidit.

Digitized by Google

latitudo illa in infinitum: & orbe *APB* jam coincidente cum axe *AB* & umbilico *S* cum axis termino *B*, deſcendet corpus in rectâ *AC*, & area *ABD* evadet tempori proportionalis. Dabitur itaque ſpatium *AC*, quod corpus de loco *A* perpendiculariter cadendo tempore dato deſcribit, ſi modo tempori proportionalis capiatur area *ABD*, & à puncto *D* ad rectam *AB* demittatur perpendicularis *DC* (f). *Q. E. I.*

Caſ. 2. Si figura illa *RPB* hyperbola eſt, deſcribatur ad eandem diametrum principalem *AB* hyperbola rectangula *BED*: & (g) quoniam areæ *CSP*, *CBfP*, *SPfB* ſunt ad areas *CSD*, *CBED*, *SDEB*, ſingulæ ad ſingulas, in datâ ratione altitudinum *CP*, *CD*; & area *SPfB* proportionalis eſt tempori quo corpus *P* movebitur per arcum *PfB*; erit etiam area *SDEB* eidem tempori proportionalis. Minuatur latus rectum hyperbolæ *RPB* in infinitum manente latere tranſverſo, & coibit arcus *PB* cum rectâ *CB* & umbilicus *S* cum vertice *B* & recta *SD* cum rectâ *BD*. Proinde area *BDEB* proportionalis erit tempori quo corpus *C* recto deſcenſu deſcribit lineam *CB*. *Q. E. I.*

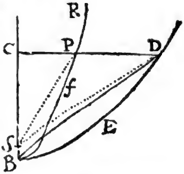


Caſ. 3.

(f) 392. *Perpendicularis* D C. Quoniam area A B D, ſemper proportionalis eſt tempori quo corpus ex puncto A per rectam A C cadit, erit totius ſemicirculi area A D E B, proportionalis tempori quo corpus idem cadendo percurrit lineam A B, & diviſim area ſegmenti B D E B, proportionalis tempori quo corpus ex A, cadendo percurrit lineam C B.

(g) 393. *Quoniam areæ.* Nam 1°. triangula C S P, C S D quorum eſt baſis communis C S, ſunt ut altitudines C P, C D. 2°. areæ hyperbolicæ C B f P, C B E D ſunt ut eædem altitudines C P, C D (374) undè 3°. diviſim C B f P — C S P ad C B E D — C S D, hoc eſt, ſector S P f B ad ſectorem S D E B ut C P ad C D.

Caſ. 3. (h) Et ſimili argumento ſi figura *R P B* parabola eſt, & eodem vertice principali *B* deſcribatur alia parabola *B E D*, quæ ſemper maneat data, interea dum parabola prior, in cujus perimetro corpus *P* movetur, diminuto & in nihilum redacto ejus latere recto, conveniat cum lineâ *C B*; fiet ſegmentum parabolicum *B D E B* proportionale tempori quo corpus illud *P* vel *C* deſcendet ad centrum *S* vel *B*. *Q. E. I.*



PROPOSITIO XXXIII. THEOREMA IX.

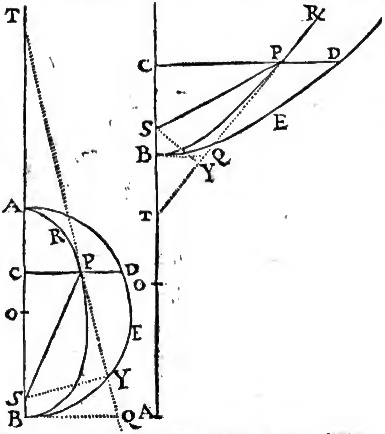
Poſitis jam inventis, dico quod corporis cadentis velocitas in loco quovis C *eſt ad velocitatem corporis centro* B *intervallo* B C *circulum deſcribentis, in ſubduplicatâ ratione quam* A C *diſtantia corporis à circuli vel hyperbolæ rectangulæ vertice ulteriore* A, *habet ad figuræ ſemidiametrum principalem* $\frac{1}{2}$ A B.

Biſecetur *A B*, communis utriuſque figuræ *R P B*, *D E B* diameter, in *O*; & agatur recta *P T*, quæ tangat figuram *R P B* in *P*, atque etiam ſecet communem illam diametrum *A B* (ſi opus eſt productam) in *T*; ſitque *S Y* ad hanc rectam, & *B Q* ad hanc diametrum perpendicularis, atque figuræ *R P B* latus rectum ponatur L. Conſtat *per corol.* IX. *prop.* XVI. quod corporis in lineâ *R P B* circa centrum *S* moventis velocitas in loco quovis *P* ſit ad velocitatem corporis intervallo *S P* circa idem cen-

(h) 394. *Simili argumento.* In Parabolâ 1°. C S P : C S D = C P : C D. 2°. ſit latus rectum Parabolæ B f P = *l*, latus rectum Parabolæ BED = L, erit, ex naturâ Parabolæ $CP^2 = l \times CB$ & $CD^2 = L \times CB$, adeòque $CP : CD = \sqrt{l} : \sqrt{L}$, hoc eſt, in ratione datâ, ergò area C B E P eſt ad aream C B E D, in eàdem ratione datâ C P ad C D; Quarè 3°. diviſim S P f B : S D E B = C P : C D. Cætera ſe habent ut in demonſtratione casûs ſecundi.

395. *Scholium.* Corporis per rectam C S, ad centrum S, cadentis velocitas in loco quovis C, eſt ad velocitatem corporis alterius ad eandem à centro diſtantiam circulum deſcribentis, vel in ratione minore quam $\sqrt{2}$, ad 1, vel in ratione majore aut in eâ ipsâ ratione. In 1°. caſu recta S C, uſurpanda eſt pro ellipſi latitudinis evaneſcentis; in 2°. caſu, recta S C, eſt hyperbola cujus latus rectum evaneſcit; in 3°. caſu, recta S C, eſt parabola lateris recti evaneſcentis. Hæc omnia patent ex *coroll.* 7°. *Prop.* X V I.

Digitized by Google

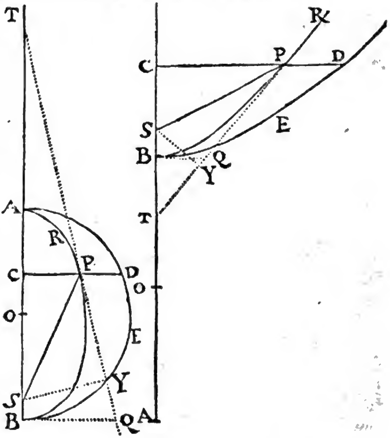


centrum circulum deſcribentis in ſubduplicatâ ratione rectanguli $\frac{1}{2}$ L × SP ad SY quadratum. Eſt autem ex conicis ACB ad CPq ut 2 AO ad L, ideoque $\frac{2\,CPq \times AO}{ACB}$ æquale L. Ergo velocitates illæ ſunt ad invicem in ſubduplicatâ ratione $\frac{CPq \times AO \times SP}{ACB}$ ad SY *quad.* (i) Porro ex conicis eſt CO ad BO ut BO ad TO; & compoſitè vel diviſim ut CB ad BT. Unde vel dividendo vel componendo fit BO — vel + CO ad BO ut CT ad BT, id eſt, AC ad AO ut CP ad BQ; indeque $\frac{CPq \times AO \times SP}{ACB}$ æquale eſt, $\frac{BQq \times AC \times SP}{AO \times BC}$. Minuatur jam in infinitum figuræ:

(i) 396. *Porrò ex conicis.* (*Vid. Lem. V. de Conicis, Cor.* 2.) eſt TO : AO = AO : CO, & quia AO = BO, invertendo & permutando eſt CO : BO = BO : TO & in Ellipſi compoſitè CO : BO = CB (ſeu CO + BO) : BT (ſeu BO + TO); & in hyperbolâ diviſim, CO : BO = CB (ſeu CO — BO) : BT (ſeu BO — TO); Quarè in utraque ſectione, CO : BO = CB : BT. Undè in ellipſi dividendo fit AC, ſeu BO — CO, aut AO — CO : BO = CT, ſeu BT — CB : BT, & in hyperbolâ; componendo AC ſeu CO + BO : BO = CT ſeu CB + BT : BT; adeóque in utrâque ſectione AC : BO ſeu AO = CT : BT. Sed propter ſimilitudinem triangulorum TCP, TBQ, CT : BT = CP : BQ, ergò AC : AO = CP : BQ, & $CP = \frac{BQ \times AC}{AO}$, ac $CP^2 = \frac{BQ^2 \times AC^2}{AO^2}$, indèque $\frac{CP^2 \times AO \times SP}{AC \times CB} = \frac{BQ^2 \times AC \times SP}{AO \times CB}$.

Digitized by Google

ræ *RPB* latitudo *CP*, ſic ut punctum *P* coeat cum puncto *C*, punctumque *S*, cum puncto *B*, & linea *SP* cum linea *BC*, lineaque *SY* cum lineâ *BQ*; & corporis jam rectâ deſcendentis in lineâ *CB* velocitas fiet ad velocitatem corporis centro *B* intervallo *BC* circulum deſcribentis; in ſubduplicatâ ratione ipſius $\frac{BQq \times AC \times SP}{AO \times BC}$ ad *SYq*, hoc eſt, (neglectis æqualitatis rationibus *SP* ad *BC* & *BQq* ad *SYq*) in ſubduplicatâ ratione *AC* ad *AO* ſive $\frac{1}{2}$ *AB*. *Q. E. D.*



Corol. 1. Punctis *B* & *S* coeuntibus, fit *TC* ad *TS* ut *AC* ad *AO*.

Corol. 2. (k) Corpus ad datam à centro diſtantiam in circulo quovis revolven- , motu ſuo ſurſum verſo aſcendet ad duplam ſuam à centro diſtantiam.

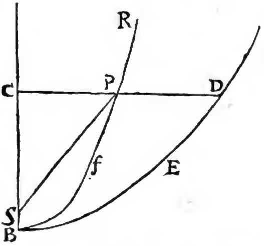
PRO-

(k) 397. *Corpus ad datam.* Si fuerit BED circulus, & punctum C coincidat cum puncto O, erit AC = AO = ½ AB, adeóque velocitas per radium AO cadendo acquiſita eſt æqualis velocitati corporis centro B intervallo BO = AO circulum deſcribentis. Undè ſi corpus illud, ad datam à centro diſtantiam BO in circulo revolvens, ſurſum per OA, projiciatur cum eâ velocitate quâ circulum deſcribit, ſeu quam per AO cadendo acquiſivit, aſcendet ad punctum A, per ſpatium OA (25) ſeu ad duplam ſuam à centro B diſtantiam BA = 2 BO.

398. *Coroll.* 1. Velocitas in puncto quovis C, eſt ad velocitatem in alio puncto c, in ratione ſubduplicatâ rectanguli AC × BC, ad rectangulum Ac × BC. Nam velocitas in C, eſt ad velocitatem corporis intervallo BC circulum deſcriben-

PROPOSITIO XXXIV. THEOREMA X.

Si figura B E D *parabola eſt, dico quod corporis cadentis velocitas in loco quovis* C *æqualis eſt velocitati quâ corpus centro* B *dimidio intervalli ſui* B C *circulum uniformiter deſcribere poteſt.*



Nam corporis parabolam *R P B* circa centrum *F* deſcribentis velocitas in loco quovis *P* (*per coroll.* VII. *prop.* XVI.) æqualis eſt velocitati corporis dimidio intervalli *S P* circulum circa idem centrum *S* uniformiter deſcribentis. Minuatur parabolæ latitudo *C P* in infinitum eo, ut arcus parabolicus *P f B* cum rectâ *C B*, centrum *S* cum vertice *B*, & intervallum *S P* cum intervallo *B C* coincidat, & conſtabit propoſitio. *Q. E. D.*

PRO-

bentis ut $\sqrt{AC}$ ad $\sqrt{\frac{1}{2}AB}$ (*per hance prop.*); Velocitas corporis intervallo B C circulum deſcribentis eſt ad Velocitatem corporis intervallo B c circulum deſcribentis, (*per Cor. 6. Prop.* IV.) reciprocè in ratione ſubduplicatâ Radiorum, hoc eſt, ut $\sqrt{Bc}$ ad $\sqrt{BC}$; Denique Velocitas Corporis intervallo B c circulum deſcribentis eſt ad Velocitatem in c corporis ex A cadentis ut $\sqrt{\frac{1}{2}AB}$ ad $\sqrt{Ac}$ (per hanc propoſitionem); Ergo per compoſitionem rationum) eſt velocitas in C ad velocitatem in c, in ratione compoſitâ ex ratione compoſitâ ex ratione $\sqrt{AC}$ ad $\sqrt{\frac{1}{2}AB}$, ratione



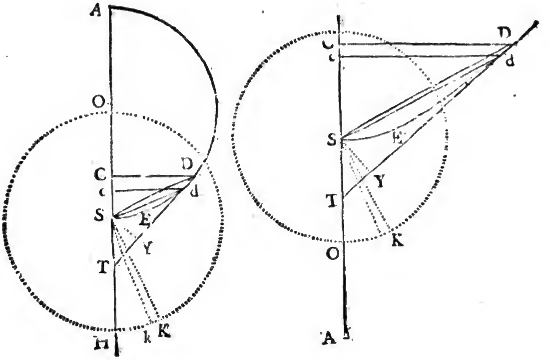
$\sqrt{Bc}$ ad $\sqrt{BC}$; & ratione $\sqrt{\frac{1}{2}AB}$ ad $\sqrt{Ac}$, ſive ut $\sqrt{AC} \times \sqrt{Bc}$ ad $\sqrt{Ac} \times \sqrt{BC}$, hoc eſt, in ratione ſubduplicatâ rectanguli $AC \times Bc$ ad rectangulum $Ac \times BC$. Q. E. D.

399. *Coroll.* 2. Si fuerit B f P Parabola, corporis in ea moti velocitas in loco quovis P, erit ad velocitatem corporis ad diſtantiam S P, circulum deſcribentis in ratione $\sqrt{2}$, ad 1; ſi ſit Ellipſis in minori ratione, in majori verò ſi fuerit hyperbola (*per Cor. 7. Prop. 16.*) & latitudine orbis imminuta in infinitum ut coincidat B f P cum axe B C, erit corporis cadentis velocitas in loco quovis C ad velocitatem corporis ad diſtantiam B C circulum deſcribentis ut $\sqrt{2}$ ad 1. adeóque $AC : \frac{1}{2}AB = 2 : 1$ in 2°. caſu ratio A C, ad $\frac{1}{2}$ A B, minor erit quam ratio 2 ad 1; in 3°. caſu major, & contrà.

Digitized by Google

PROPOSITIO XXXV. THEOREMA XI.

Iiſdem poſitis, dico quod area figuræ DES, *radio indefinito* SD *deſcripta, æqualis ſit areæ quam corpus, radio dimidium lateris recti figuræ* DES *æquante, circa centrum* S *uniformiter gyrando, eodem tempore deſcribere poteſt.*



Nam concipe corpus *C* quam minima temporis particulâ lineolam *Cc* cadendo deſcribere, & interea corpus aliud *K*, uniformiter in circulo *OKk* circa centrum *S* gyrando, arcum *Kk* deſcribere. Erigantur perpendicula *CD*, *cd* occurrentia figuræ *DES* in *D*, *d*. Jungantur *SD*, *Sd*, *SK*, *Sk* & ducatur *Dd* axi *AS* occurrens in *T*, & ad eam demittatur perpendiculum *SY*.

Caſ. 1. Jam ſi figura *DES* circulus eſt vel hyperbola rectangula, biſecetur ejus tranſverſa diameter *AS* in *O*, & erit

SO

SO dimidium lateris recti. (l) Et quoniam eſt *TC* ad *TD* ut *Cc* ad *Dd*, & (m) *TD* ad *TS* ut *CD* ad *SY*, erit ex æquo *TC* ad *TS* ut *CD* × *Cc* ad *SY* × *Dd*. Sed (*per corol.* 1. *prop.* XXXIII.) (n) eſt *TC* ad *TS* ut *AC* ad *AO*, puta ſi in coitu punctorum *D*, *d* capiantur linearum rationes ultimæ. Ergo *AC* eſt ad *AO* ſeu *SK* ut *CD* × *Cc* ad *SY* × *Dd*. Porro corporis deſcendentis velocitas in *C* eſt ad velocitatem corporis circulum intervallo *SC* circa centrum *S* deſcribentis in ſubduplicatâ ratione *AC* ad *AO* vel *SK* (*per prop.* XXXIII.) Et hæc velocitas ad velocitatem corporis deſcribentis circulum *OKk* in ſubduplicatâ ratione *SK* ad *SC* (*per corol.* VI. *prop.* IV.) & ex æquo velocitas prima ad ultimam, hoc eſt lineola *Cc* ad arcum *Kk* in ſubduplicatâ ratione *AC* ad *SC*, (o) id eſt in ratione *AC* ad *CD*. Quare eſt *CD*×*Cc* æquale *AC*×*Kk*, & (p) propterea *AC* ad *SK* ut *AC*×*Kk* ad *SY* × *Dd*, indeque *SK*×*Kk* æquale *SY* × *Dd*, & $\frac{1}{2}$ *SK* × *Kk* æquale $\frac{1}{2}$ *SY* × *Dd*, id eſt area *KSk* æqualis areæ *SDd*. Singulis igitur temporis particulis generantur arearum duarum particulæ *KSk*, & *SDd*, quæ, ſi magnitudo earum minuatur & numerus augeatur in infinitum, rationem obtinent æqualitatis, & propterea (*per corollarium lemmatis* IV.) areæ totæ ſimul genitæ ſunt ſemper æquales. *Q.E.D.*

Caſ.

(l) * *Et quoniam eſt TC ad TD ut Cc ad Dd.* Quia in Triangulo TCD, eſt cd parallela baſi CD, ideoque TC : TD ut partes correſpondentes Cc, Dd.

(m) * *Et TD ad TS ut CD ad SY.* Sunt enim propter angulos Y, & C, rectos & angulum T, communem, triangula TCD, TSY, ſimilia.

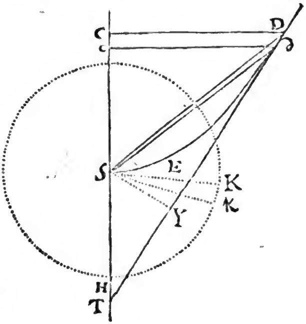
(n) *Eſt TC : TS.* Nam punctis D, d, coeuntibus, fit TD, tangens; adeóque (396.) TC : TS = AC : AO.

(o) * *In ratione AC ad SC, id eſt in ratione AC ad CD.* Eſt enim SED, circulus, vel hyperbola æquilatera cujus vertices S & A, ſed in circulo & hyperbolâ æquilaterâ ob axium æqualitatem eſt $CD^2 = AC \times SC$, & proindè AC : CD = CD : SC, & hinc AC ad CD, in ratione ſubduplicatâ AC ad SC.

(p) * *Et propterea.* Nam ex ſuperius demonſtratis AC : SK = CD × Cc : SY × Dd.

Digitized by Google

Caſ. 2. Quod ſi figura *DES* parabola ſit, invenietur eſſe ut ſupra $CD \times Cc$ ad $SY \times Dd$ ut TC ad TS, hoc (q) eſt ut 2 ad 1, ideoque $\frac{1}{4}\, CD \times Cc$ æquale eſſe $\frac{1}{2}\, SY \times Dd$. Sed corporis cadentis velocitas in *C* æqualis eſt velocitati quâ circulus intervallo $\frac{1}{2}\, SC$ uniformiter deſcribi poſſit (*per prop.* XXXIV.) Et hæc velocitas ad velocitatem quâ circulus radio *SK* deſcribi poſſit, hoc eſt, lineola *Cc* ad arcum *Kk* (*per corol.* VI. *prop.* IV.) eſt in ſubduplicatâ ratione *SK* ad $\frac{1}{2}\, SC$, id (r) eſt, in ratione *SK* ad $\frac{1}{2}\, CD$. Quare eſt $\frac{1}{2}\, SK \times Kk$ æquale $\frac{1}{4}\, CD \times Cc$, ideoque æquale $\frac{1}{2}\, SY \times Dd$, hoc eſt, area *KSk* æqualis areæ *SDd*, ut ſupra. *Q. E. D.*



PRO-

(q) * *Hoc eſt ut* 2 *ad* 1. Cum enim ſit TD tangens, CD ordinata, SC abſciſſa, eſt ex naturâ Parabolæ $TS = SC$, adeòque $TC : TS = 2. 1$.

(r) * *Id eſt in ratione SK, ad* $\frac{1}{2}$ *CD*. Nam (*ex hyp.*) SK, æqualis eſt dimidio lateri recto, quarè ex naturâ parabolæ $2SK \times SC = CD^2$; & $\frac{1}{2}\, SC \times SK = \frac{1}{4}\, CD^2$. Undè $SK : \frac{1}{2}\, CD = \frac{1}{2}\, CD : \frac{1}{2}\, SC$, & hinc SK ad $\frac{1}{2}$ CD in ratione ſubduplicatâ SK ad $\frac{1}{2}$ SC.

400. *Coroll.* 1. Si fuerit SED circulus cujus diameter SA, corpus ex loco A demiſſum & ſolâ vi centripetâ ſollicitatum cadendo percurret totam diametrum AS, eodem tempore, quo corpus aliud ad dimidiam diſtantiam SO, deſcribet ſemicirculum OKH; ſunt enim areæ ſemicirculorum OKH & SEA æquales; tempus verò quo corpus ex A demiſſum cadendo percurrit ſpatium quodvis AC eſt ad tempus quo percurret AS, ut area ASD ad ſemicirculum ADES, ſive ut ſector OSK ad ſectorem quem deſcribit corpus in circulo OKH revolvens æqualem ſemicirculo ADES, qui ſector erit ipſe ſemicirculus OKH.

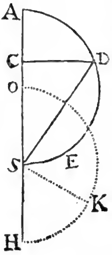
401. *Coroll.* 2. Si corpus ad diſtantiam SA, circulum deſcribens omni motu revolutionis privaretur, & ad centrum virium S, ſolâ vi centripetâ urgeretur, tempus quo ex A uſque ad S cadendo perveniret, eſſet ad tempus unius revolutionis in circulo ut 1, ad $4\sqrt{2}$: eſt enim tempus periodicum corporis ad diſtantiam SO circulum deſcribentis (hoc eſt, duplum ejus temporis quo corpus ex A, cadendo

per-

Digitized by Google

PROPOSITIO XXXVI. PROBLEMA XXV.

Corporis de loco dato A *cadentis determinare tempora deſcenſus.*



Super diametro *AS* diſtantiâ corporis a centro ſub initio, deſcribe ſemicirculum *ADS*, ut & huic æqualem ſemicirculum *OKH* circa centrum *S*. De corporis loco quovis *C* erige ordinatim applicatam *CD*. Junge *SD*, & areæ *ASD* æqualem conſtitue ſectorem *OSK*. (ſ) Patet *per prop.* xxxv. quod corpus cadendo deſcribet ſpatium *AC* eodem tempore quo corpus aliud, uniformiter circa centrum *S* gyrando, deſcribere poteſt arcum *OK*. *Q. E. F.*

PRO-

percurrit A S, (400) ad tempus periodicum corporis ad diſtantiam A S (= 2 S O) in circulo revolventis ut Radices quadratæ cuborum diſtantiarum 1 & 2. ſive ut 1, ad $\sqrt{8}$ (191.), hoc eſt, ut 1 ad $2\sqrt{2}$; ergo tempus quo corpus cadendo percurrit A S, eſt ad tempus periodicum corporis ad diſtantiam A S in circulo revolventis ut $\frac{1}{2}$ ad $2\sqrt{2}$, hoc eſt, ut 1, ad $4\sqrt{2}$.

401. *Scholium.* Si planetarum orbitas circulares eſſe ſupponamus, vimque centripetam quâ in ſuis orbitis retinentur, in duplicatâ ratione diſtantiarum à centro decreſcere, ex datis temporibus periodicis, facile erit tempora definire quibus uſque ad centrum ſui motus cadendo pervenirent. Exempli causâ, cum tempus periodicum lunæ circâ terram revolventis ſit dierum 27. hor. 7. minutorum primorum 43, hoc eſt, minutorum primorum 39343, erit $4\sqrt{2}$, ad 1, hoc eſt, quam proximè 565685, 100000, ut 39343, ad 6955. 5, ſeu dies 4, hor. 19, min. prim. 55, & ſecund. 30, tempus quo luna cadendo ad centrum telluris perveniret.

(ſ) * *Patet per prop. XXXV.* Cum enim ſemicirculorum A D S, O K H, & ſectorum O S K, A S D, areæ æquales ſint reſpectivè, erit quoque ſector H S K æqualis ſegmento S E D, adeóque (401.) tempus quo corpus ex A cadendo percurrit *CS*, æquatur tempori, quo corpus aliud in circulo O K H revolvens deſcribit arcum K H, & quoniam tempus per A S cadendo æquatur tempori quo corpus revolvens totum ſemicirculum O K H, deſcribit (401), erit tempus per A C, æquale tempori per arcum O K.

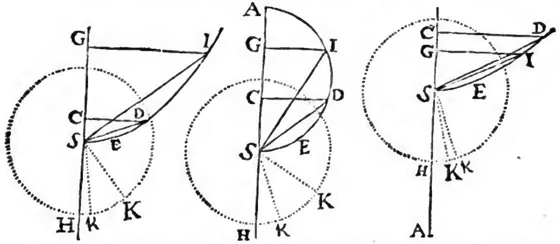
403. *Coroll.* Arcus O K, æqualis eſt ſummæ arcus A D & lineæ C D. Eſt enim ſector A S D, æqualis ſectori A O D, + triangulo D O S, ſive $\frac{1}{2}$ A O × A D + $\frac{1}{2}$ A O × C D : ſector verò O S K, = $\frac{1}{2}$ S O × O K = $\frac{1}{2}$ A O × O K, ſed eſt ſector O S K = A S D. Quarè $\frac{1}{2}$ A O × O K = $\frac{1}{2}$ A O × A D + $\frac{1}{2}$ A O × C D, atque adeò O K = A D + C D. Si itaque fiat ut radius ad arcum grad. 57. 29578, qui radio æqualis eſt, ita C D, ad 4um. *B*, erit *B* arcus rectæ C D æqualis, & obtinebitur O K = A D + *B*. Hinc dato tempore quo corpus datam A S ex puncto A cadendo percurrit, invenitur tempus quo datam rectæ A S partem A C deſcribit, ſi fiat ut ſemicirculus O K H, ſeu grad. 180, ad arcum A D + *B*, ſeu O S, ità tempus quo corpus ex A cadendo percurrit A S, ad tempus quo percurrit A C.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XXXVII.

PROPOSITIO XXXVII. PROBLEMA XXVI.

Corporis de loco dato ſurſum vel deorſum projecti definire tempora aſcenſus vel deſcenſus.

Exeat corpus de loco dato *G* ſecundum lineam *G S* cum ve-



locitate quâcumque. In duplicatâ ratione hujus velocitatis ad uniformem in circulo velocitatem, quâ corpus ad intervallum datum *SG* circa centrum *S* revolvi poſſet, cape *G A* ad ½ *A S*. Si ratio illa eſt numeri binarii ad unitatem, punctum *A* infinite diſtat, quo caſu parabola vertice *S*, axe *S G*, latere quovis recto deſcribenda eſt. Patet hoc *per prop.* XXXIV. Sin ratio illa minor vel major eſt quam 2 ad 1, priore caſu circulus, poſteriore hyperbola rectangula ſuper diametro *S A* deſcribi debet. (t) Patet *per prop.* XXXIII. Tum centro *S*, intervallo æquan-

(t) * *Patet per Prop. XXXIII.* Scilicet, fingatur ſectio conica latitudinis quam minimæ, ut proximè coincidat cum axe A B, & in ea fingatur eſſe punctum G ex quo corpus movetur cum datâ velocitate, primo quæritur ſpecies illius ſectiones, & ex proportione velocitatis datæ ad velocitatem quâcum corpus ad intervallum datum S G circa Centrum S revolveretur, agnoſcetur, *ex Cor.* 7. *Prop.* XVI. &, ſi ſit Ellipſis vel Hyperbola ejus axis major ex velocitate in G datâ etiam innoteſcet, per Prop. XXXIII. quia velocitas corporis cadentis in puncto G, eſt ad velocitatem corporis in diſtantia S G revolventis in ſubduplicatâ ratione diſtantiæ puncti G à vertice ulteriore Ellipſis vel Hyperbolæ ad ejus ſemi-Axem, unde

Digitized by Google

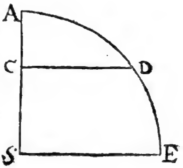
æquante dimidium lateris recti, deſcribatur circulus *HkK*, & ad corporis deſcendentis vel aſcendentis locum *G*, & locum alium quemvis *C*, erigantur perpendicula *GI*, *CD* occurrentia conicæ ſectioni vel circulo in *I* ac *D*. Dein junctis *SI*, *SD*, fiant ſegmentis *SEIS*, *SEDS* ſectores *HSK*, *HSk* æquales, & *per prop.* XXXV. corpus *G* deſcribet ſpatium *GC* eodem tempore quo corpus *K* deſcribere poteſt arcum *Kk*. *Q. E. F.*

Prop. XXXVII.

PROPOSITIO XXXVIII. THEOREMA XII.

Poſito quod vis centripeta proportionalis ſit altitudini ſeu diſtantiæ locorum à centro, dico quod cadentium tempora, velocitates & ſpatia deſcripta ſunt arcubus, arcuumque ſinibus rectis & ſinibus verſis reſpectivè proportionalia.

Cadat corpus de loco quovis *A* ſecundum rectam *AS*; & centro virium *S*, intervallo *AS*, deſcribatur circuli quadrans *AE*, ſitque *CD* ſinus rectus arcus cujuſvis *AD*; & corpus *A*, tempore *AD*, cadendo deſcribit ſpatium *AC*, inque loco *C* acquiret velocitatem *CD*.



Demon-

unde ſi fiat G A ad $\frac{1}{2}$ S A in duplicatâ ratione velocitatis in G ad velocitatem corporis in diſtantiâ S G revolventis, erit A vertex ulterior Ellipſis vel Hyperbolæ, & $\frac{1}{2}$ S A ſemi-Axis quæſitus.

Fiat ergo in vertice S Parabola quævis, ſi curva evaneſcens in quâ G eſt, ſit Parabola, vel fiat Circulus, vertice S Diametro S A, ſi ſit Ellipſis; vel Hyperbola æquilatera eâdem Diametro ſi ea curva ſit Hyperbola; & ſi Corpus ex G perveniat in C, erectis uſque ad curvas deſcriptas perpendicularibus G I, C D, erunt ſegmenta S E I, S E D proportionalia temporibus quibus corpus propoſitum ex G ad S, & ex C ad S movebitur per Prop. XXXII: *Sed per Prop. XXXV*, corpus G ſpatia G S, C S, iiſdem temporibus cadendo percurrit, quibus corpus K, deſcribit arcus K H, k H; eodem igitur tempore percurritur G C, quo K k.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XXXVIII.

(u) Demonſtratur eodem modo ex propoſitione X, quo propoſitio XXXII, ex propoſitione XI demonſtrata fuit.

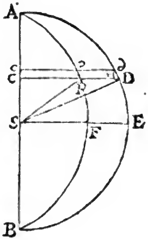
Corol. 1. (x) Hinc æqualia ſunt tempora, quibus corpus unum de loco *A* cadendo pervenit ad centrum *S*, & corpus aliud revolvendo deſcribit arcum quadrantalem *A D E*.

Corol. 2. Proinde æqualia ſunt tempora omnia quibus corpora de locis quibuſvis ad (y) uſque centrum cadunt. Nam revolventium tempora omnia periodica (*per corol.* III. *prop.* IV.) æquantur.

PRO-

(u) * 404. *Demonſtratur eodem modo:* Nam ſi corpus non cadit perpendiculariter, deſcribet id (*per Cor.* 1. *Prop. X.*) ellipſim aliquam A P F B, cujus centrum congruit cum centro virium S; Super hujus ellipſeos axe majore A B, deſcribatur ſemicirculus A D B, & per corpus decidens tranſeat recta D P C perpendicularis ad axem, actiſque D S, P S, erit area A S D, areæ A S P, atque adeò etiam tempori proportionalis. Manente axe A B, minuatur perpetuò latitudo Ellipſeos, & ſemper manebit area A S D, tempori proportionalis. Minuatur latitudo illa in infinitum, & orbe A P B jam coincidente cum axe A B, puncto P cum C, & F cum S, deſcendet corpus in rectâ A C, & area A S D, ſeu huic proportionalis arcus A D, evadet tempori proportionalis. In rectâ A C capiatur linea quam minima C c, agaturque c d, parallela C D, & circulum ſecans in puncto d, ex quo ad C D, demittatur perpendiculum d r, & arcus D d proportionalis erit tempori quo percurritur C c, (ex demonſtr.) atque adeò coeuntibus punctis C c, & d D, erit velocitas in C, ut $\frac{Cc}{Dd}$ (5, 145), ſed ob triangula D r d, S C D, ſimilia C c, ſeu d r : d D = C D : S D, id eſt, $\frac{Cc}{dD}=\frac{CD}{SD}$. Quarè velocitas in loco C, eſt ut $\frac{CD}{SD}$, hoc eſt, ob conſtantem S D, ut C D. Q. E. D.

(x) * *Cor.* 1. *Hinc æqualia.* Nam



per coroll. 2. prop. X. tempora revolutionum in ellipſibus quibuſvis A P F, A D B, adeóque & tempora per ellipſeon quadrantes A P F ſeu A S, A D E, ſunt æqualia.

(y) * *Ad uſque centrum.* Ex quiete cadunt.

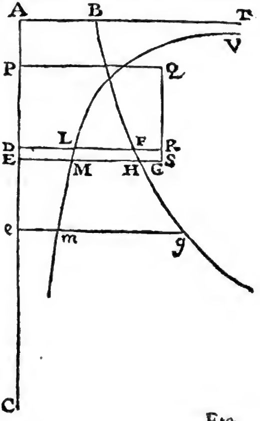
405. Æqualia ſunt tempora quibus corpus unum de loco A cadendo pervenit ad locum C, & corpus aliud revolvendo deſcribit arcum circuli A D; Cum enim corpus in circulo uniformiter revolvatur, erit tempus per A D ad tempus per A E ſeu ad tempus per A S, ut arcus A D, ad quadrantem A E, ſed eſt etiam tempus per A C, ad tempus per A S, ut arcus A D, ad quadrantem A E, ergò tempus per A C, æquatur tempori per A D.

Digitized by Google

PROPOSITIO XXXIX. PROBLEMA XXVII.

Poſitâ cujuſcumque generis vi centripetâ, & conceſſis figurarum curvilinearum quadraturis, requiritur corporis rectâ aſcendentis vel deſcendentis tum velocitas in locis ſingulis, tum tempus quo corpus ad locum quemvis perveniet: Et contra.

De loco quovis *A* in rectâ *ADEC* cadat corpus *E*, (z) deque loco ejus *E* erigatur ſemper perpendicularis *EG*, vi centripetæ in loco illo ad centrum *C* tendenti proportionalis: Sitque *BFG* linea curva quam punctum *G* perpetuò tangit. Coincidat autem *EG* ipſo motûs initio cum perpendiculari *AB*, & erit corporis velocitas in loco quovis *E* (a) ut recta, quæ poteſt aream curvilineam *ABGE*. *Q. E. I.*



In *EG* capiatur *EM* rectæ, quæ poteſt aream *ABGE*, reciprocè proportionalis, & ſit *VLM* linea curva, quam punctum *M* perpetuo tangit, & cujus aſymptotos eſt recta *AB* producta; & erit tempus, quo corpus cadendo deſcribit lineam *AE*, ut area curvilinea *ABTVME*. *Q. E. I.*

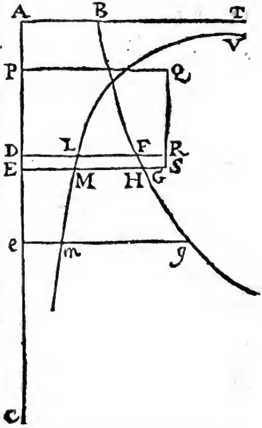
Ete-

(z) * *Deque loco ejus E.* Id eſt, per omniæ lineæ A C puncta erigantur perpendicula ut E G, vi centripetæ in ſingulis illis punctis proportionalia, ſitque B F G curva ad quam omnia illa perpendicula terminentur. Poſſunt autem perpendicula illa ad arbitrium aſſumi, dummodò ſingula vi centripetæ in ſingulis locis proportionalia ſint.

(a) *Ut recta, quæ poteſt aream curvilineam ABGE.* In prioribns Editionibus erat, *ut areæ curvilineæ A B G E latus quadratum*; hæ ſcilicet phraſes ſynonymæ ſunt; phraſis quæ hic juxta Editionem Londinenſem adhibetur, veteribus Geometris eſt familiaris: Ea autem linea quæ poteſt figuram datam, eſt linea cujus quadratum eſt æquale illi figuræ datæ.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XXXIX.



Etenim in rectâ AE capiatur linea quam minima DE datæ longitudinis, ſitque DLF locus lineæ EMG, ubi corpus verſabatur in D; & ſi ea ſit vis centripeta, ut recta, quæ poteſt aream $ABGE$, ſit ut deſcendentis velocitas: erit area ipſa in duplicatâ ratione velocitatis, id eſt, ſi pro velocitatibus in D & E, ſcribantur V & V + I; erit area $ABFD$ ut VV, & area $ABGE$ ut VV + 2 VI + II, & diviſim area $DFGE$ ut 2 VI + II, ideoque $\frac{DFGE}{DE}$ ut $\frac{2\,VI + II}{DE}$, id (b) eſt ſi primæ quantitatum naſcentium rationes ſumantur, longitudo DF ut quantitas $\frac{2\,VI}{DE}$, ideoque etiam ut quantitatis hujus dimidium $\frac{I \times V}{DE}$. Eſt autem tempus, quo corpus cadendo deſcribit lineolam

(b) 406. * *Id eſt, ſi primæ quantitatum naſcentium &c.* Seu coeuntibus punctis, D & E, F & G, ſit area D F G E, æqualis rectangulo D F × D E (107) & velocitatis finitæ V, incrementum naſcens I, evaneſcit reſpectu V, (107) ac proindè cum ſit I : V = II : VI, quadratum II, evaneſcit reſpectu rectanguli VI, aut 2 VI; Quarè in hoc caſu $\frac{DFGE}{DE}, = \frac{DF \times DE}{DE} = DF$, & $\frac{2\,VI + II}{DE} = \frac{2\,VI}{DE}$; Eſt igitur longitudo DF, ut quantitas $\frac{2\,VI}{DE}$, ideóque etiam; ut quantitatis hujus dimidium $\frac{I \times V}{DE}$: Quoniam autem velocitas per ſpatium evaneſcens D E, eſt uniformis (145); ſi tempus quo D E percurritur, dicatur T, erit $T = \frac{DE}{V}$, (5). Eſt autem vis ut $\frac{I}{T}$ (13) adeóque ſi loco T ponatur $\frac{DE}{V}$, erit vis ut $\frac{I \times V}{DE}$, hoc eſt, ut longitudo D F, *ergò vis, ipſi D F, vel E G &c.*

Digitized by Google

neolam *D E*, ut lineola illa directè & velocitas V inversè, eſtque vis ut velocitatis incrementum I directè & tempus inversè, ideoque ſi primæ naſcentium rationes ſumantur, ut $\frac{I \times V}{DE}$, hoc eſt, ut longitudo *D F.* Ergo vis ipſi *D F* vel *E G* proportionalis facit ut corpus eâ cum velocitate deſcendat, quæ ſit ut recta quæ poteſt aream *A B G E.* *Q. E. D.*

(c) Porro cum tempus, quo quælibet longitudinis datæ lineola *D E* deſcribatur, ſit ut velocitas inversè, ideoque inversè ut linea recta quæ poteſt aream *A B F D*; (d) ſitque *D L*, atque ideo area naſcens *D L M E*, ut eadem linea recta inversè: erit tempus ut area *DLME*, & ſumma omnium temporum ut ſumma omnium arearum, hoc eſt (*per corol. lem.* IV.) tempus totum quo linea *A E* deſcribitur ut area tota *ATVME.* *Q. E. D.*

Corol. 1. Si *P* ſit locus, de quo corpus cadere debet, ut urgente aliquâ uniformi vi centripetâ notâ (qualis vulgo ſupponitur gravitas) velocitatem acquirat in loco *D* æqualem velocitati, quam corpus aliud vi quâcunque cadens acquiſivit eodem loco *D*, & in perpendiculari *D F* capiatur *D R*, quæ ſit ad *D F* ut vis illa uniformis ad vim alteram in loco *D*, & compleatur rectangulum *P D R Q*, eique æqualis abſcindatur area *A B F D*; erit *A* locus de quo corpus alterum cecidit. Namque completo rectangulo *D R S E*, (e) cum ſit area *A B F D* ad aream *DFGE* ut VV ad 2 VI, ideoque ut $\frac{1}{2}$ V ad I, id eſt, ut ſemiſſis velocitatis totius ad incrementum velocitatis corporis vi inæ-

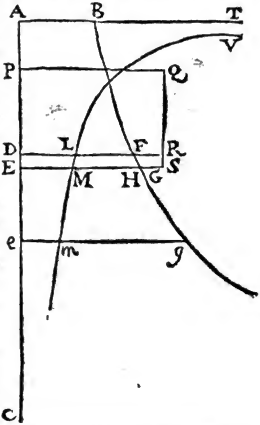
(c) * *Porrò cum tempus.* Tempus enim eſt ut ſpatium uniformiter percurſum directè & velocitas inverſe (5), quarè ſi ſpatium conſtans fuerit, tempus eſt ut velocitas inversè.

(d) * *Sitque* D L. Eſt enim D L, ut D L in conſtantem D E ducta, hoc eſt, ut area naſcens D L M E, ſed D L eſt ut latus quadratum areæ A B F D inversè (per conſtr.) ergò area naſcens D L M E, eſt ut idem latus quadratum inversè, hoc eſt, ut velocitas inversè, ſive, ut tempus per D E. *Quarè ſumma omnium temporum eſt ut ſumma omnium arearum naſcentium. Hoc eſt, &c.*

(e) * *Cum* (coeuntibus punctis D, E) *ſit area A B F D ad aream D F G E, ut VV, ad 2 V× I;* Si enim A ſit locus ex quo corpus cadere debet vi quâcumque ut eamdem in D velocitatem V acquiſiverit ac ſi ex P vi gravitatis decidiſſet, erit area ABFD, ut V V, & area D F G E, ut 2 V I + I I, hoc eſt, (406) ut 2 V I. Quarè A B F D : D F G E = V V : 2 V I = $\frac{1}{2}$ V : I,

Digitized by Google

inæquabili cadentis; ([f]) & ſimiliter area *PQRD* ad aream *DRSE* ut ſemiſſis velocitatis totius ad incrementum velocitatis corporis uniformi vi cadentis; ſintque incrementa illa (ob æqualitatem temporum naſcentium) ut vires generatrices, id eſt, ut ordinatim applicatæ *DF*, *DR*, ideoque ut areæ naſcentes *DFGE*, *DRSE*; erunt ex æquo areæ totæ *ABFD*, *PQRD* ad invicem ut ſemiſſes totarum velocitatum, & propterea, ob æqualitatem velocitatum, æquantur.



Corol. ([g]) 2. Unde ſi corpus quodlibet de loco quocunque *D* datâ cum velocitate vel ſurſum vel deorſum projiciatur, & detur lex vis centripetæ, invenietur velocitas ejus in alio quovis loco

([f]) * *Et ſimiliter area* PQRD *ad aream* DRSE, hoc eſt, linea PD ad lineam DE (propter altitudinem communem DR = SE) *ut ſemiſſis velocitatis totius ad incrementum velocitatis corporis uniformi vi cadentis*, ſcilicet cum velocitas in D ſit V, ejus incrementum in E ſit X, ex naturâ gravitatis altitudines ex quibus corpus cadit ſunt ut quadrata velocitatum in fine lapſus acquiſitarum, ergo erit PD ad PE ut VV ad $VV + 2VX + X^2$, & dividendo PD : DE = VV : $2VX + X^2$ (& omiſſo X^2 ut pote infinite parvo) VV : 2TX = $\frac{1}{2}$V : X; unde PQRD : DRSE = $\frac{1}{2}$V : X, ſive invertendo DRSE : PQRD = X : $\frac{1}{2}$V; ſunt verò incrementa illa I & X (13) ut vires generatrices id eſt ut DF ad DR, ſive ut DFGE ad DRSE. Eſt ergo per hanc demonſtrationem.

ABFD : DFGE = $\frac{1}{2}$V : I
DFGE : DRSE = DF : DR = I : X
DRSE : PQRD = X : $\frac{1}{2}$V

Unde ex compoſitione rationum ABFD : PQRD = $\frac{1}{2}V \times I \times X : I \times X \times \frac{1}{2}V$ ſive in ratione æqualitatis.

([g]) * *Coroll.* 2. *demonſtratur.* Sit A punctum ex quo corpus cadere debet ut acquirat in loco D velocitatem cum quâ ſurſum vel deorſum projicitur, erit, (*ex Dem.*) area ABge proportionalis quadrato velocitatis corporis in loco e: Eſt autem (*ex Dem.*) area ABFD, æqualis rectangulo PQRD, adeóque area ABge = PQRD + DFge ſi locus e loco D inferior fuerit, & ABge = PQRD − DFge, ſi locus e loco D ſuperior, hoc eſt, ſi corpus ſurſum projectum ſit; ergò velocitas cor-

loco e, erigendo ordinatam eg, & capiendo velocitatem illam ad velocitatem in loco D ut eſt recta, quæ poteſt rectangulum $PQRD$ areâ curvilineâ $DFge$ vel auctum, ſi locus e eſt loco D inferior, vel diminutum, ſi is ſuperior eſt, ad rectam quæ poteſt rectangulum ſolum $PQRD$.

Corol. 3. Tempus quoque innoteſcet erigendo ordinatam em reciproce proportionalem lateri quadrato ex $PQRD +$ vel $- DFge$, & capiendo tempus quo corpus deſcripſit lineam De ad tempus quo corpus alterum vi uniformi cecidit à P & cadendo pervenit ad D, ut area curvilinea $DLme$ ad rectangulum $2\,PD \times DL$. Namque tempus quo corpus vi uniformi deſcendens deſcripſit lineam PD eſt ad tempus quo corpus idem deſcripſit lineam PE in (h) ſubduplicatâ ratione PD ad PE, id eſt (lineola DE jamjam naſcente) in ratione PD ad $PD + \frac{1}{2} DE$ ſeu $2\,PD$ ad $2\,PD + DE$, & (i) diviſim, ad tempus quo corpus idem deſcripſit lineolam DE ut $2\,PD$ ad DE, ideoque ut rectangulum $2\,PD \times DL$ ad aream $DLME$; eſtque tempus quo corpus utrumque deſcripſit lineolam DE ad tempus quo corpus alterum inæquabili motu deſcripſit lineam De, ut area $DLME$ ad aream $DLme$, & ex æquo tempus primum ad tempus ultimum ut rectangulum $2\,PD \times DL$ ad aream $DLme$.

corporis in loco e, eſt ut $\sqrt{PQRD \mp DFge}$; cumque ſit velocitas in D, ut $\sqrt{ABFD}$, ſive ut huic æqualis $\sqrt{PQRD}$ (*ex Dem.*) erit velocitas in e, ad velocitatem in D, ut $\sqrt{PQRD \mp DFge}$, ad $\sqrt{PQRD}$.

(h) * *In ſubduplicatâ ratione* PD, ad PE (27), *id eſt, lineola* DE, *jamjam naſcente in ratione* PD, *ad* PD, +, DE; quadratis enim his ultimis terminis fiet $PD^2 : PD^2 + PD \times DE + \frac{1}{4} DE^2$; & cum ſit PD quantitas finita; & DE naſcens, evaneſcit (107) $\frac{1}{4} DE^2$ reſpectu PD × DE; adeóque $PD \times DE \mp \frac{1}{4} DE^2 = PD \times DE$. Undè eſt $PD^2 : PD^2 + PD \times DE + \frac{1}{4} DE^2 = PD^2 : PD^2 + PD \times DE = PD : PD + DE$, ſeu PE; eſt igitur PD : PE in ratione duplicatâ PD ad $PD + \frac{1}{2} DE$, atque adeò PD ad $PD + \frac{1}{2} ED$, in ratione ſubduplicatâ PD, ad PE.

(i) * *Et diviſim.* Tempus per PD, vi uniformi deſcriptum eſt ad tempus per DE, ut 2 PD, ad DE, adeóque ut rectangulum $2\,PD \times DL$, ad rectangulum $DE \times DL$, ſeu ad aream DLME, tempus per rectam PD, vi uniformi deſcriptam ſit T, tempus per DE, ſit θ, & tempus per De, ſit t, erit (*ex Dem.*) $T : \theta = 2\,PD \times DL : DLME$, eſtque idem tempus θ, quo utrumque corpus deſcribit lineam DE, ſiquidem utriuſque eadem eſt velocitas in D: ſed (ex conſtructione) tempus quo corpus

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XXXIX.

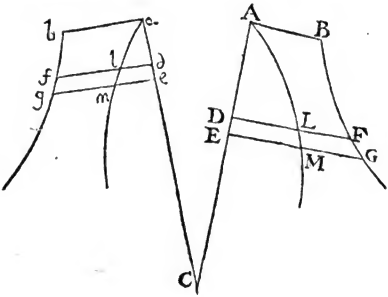
inæquabili motu deſcribit lineam DE eſt ad tempus quo deſcribit lineam De, ut area $DLME$, ad aream $DLme$, ergo $T : t :: DLME : DLme$; undè ex æquo $T : t = 2FD \times DL : DLme$.

407. Sit ſpatium à corpore cadente deſcriptum $AE = x$, velocitas in E acquiſita $= v$, tempus quo AE, percurritur $= t$, vis centripeta in E, hoc eſt, $EG = y$, erunt dx, dv, dt, quantitatum x, v, t, fluxiones ſeu incrementa naſcentia vel evaneſcentia (146. 158), cumque velocitas per ſpatium naſcens DE, ſit uniformis (145) erit $v = \frac{dx}{dt}$ (5), ac proindè velocitatis incrementum $dv = \frac{ddx}{dt}$, ſi ſumatur dt, conſtans (164) ſed eſt (13) $y = \frac{dv}{dt}$, adeóque ſi loco dv, ſubſtituatur $\frac{ddx}{dt}$, invenietur $y = \frac{ddx}{dt^2}$. Hæ ſunt formulæ quas tradidit *Varignonius* in Comm. Pariſ. an. 1700. Harum formularum ope, datâ inter duas ex variabilibus quatuor y, x, v, t, æquatione quâvis, obtinebuntur tres æquationes quæ ſimul quatuor duntaxat variabiles complectentur, ex quibus proindè æquationibus per calculum fluxionum & ſolitas reductiones inveniri poterit æquatio inter duas quaſlibet ex quatuor variabilibus y, x, v, t, ut demonſtravit *Varignonius* in Comm. Pariſ. an. 1700, qui in iiſdem Commentariis an. 1707. 1710. præclara de aſcenſu & deſcenſu corporum perpendiculari theoremata edidit.

408. *Coroll.* Cum ſit juxtà ſuperiores formulas $dt = \frac{dx}{v}$, & $dt = \frac{dv}{y}$, ac proindè $\frac{dx}{v} = \frac{dv}{y}$, vel $y\,dx = v\,dv$, erit $S.\,y\,dx = \frac{1}{2}v^2$. Sed $y\,dx = EG \times DE$, ſeu fluxioni areæ $ABGE$; ergò (147) $S.\,y\,dx =$ areæ $ABGE, = \frac{1}{2}v^2$, & $v = \sqrt{2ABGE}$. Eſt igitur ob conſtantem velocitas in loco E, ut recta quæ poteſt aream curvilineam $ABGE$. Hinc eſt 1us. caſus Prop. XXXIX. *Newt.* Quoniam verò $dt = \frac{dx}{v}$ & $v = \sqrt{2ABGE}$, erit $dt = \frac{dx}{\sqrt{2ABGE}}$; Quare ſi capitur $EM = \frac{1}{\sqrt{2ABGE}}$, erit $dt = EM \times dx = EM \times DE$, & ſumptis utrinque fluentibus $t =$ area $ALME$. Hic eſt caſus 2us. Prop. XXXIX. *Newt.*

409. Superior expreſſio vis centripetæ y, $= \frac{dv}{dt}$ ſi vis centripeta conſideretur ut gravitas in centrum, ſupponit maſſam corporum aut eandem eſſe aut ponderibus proportionalem. Verùm ſi pondera non ſint maſſis proportionalia, diverſæque inter ſe maſſæ conferantur, tum habenda eſt maſſarum ratio ut determinetur tota corporis gravitas, ſeu vis tota quâ centrum verſus urgetur. Sit vis illa $= y$, & maſſa $= m$, erit quidem ſemper $v = \frac{dx}{dt}$ (5), at fiet $y = \frac{m\,dv}{dt}$. Etenim vis centripeta conſiderari poteſt ut potentia motrix, quæ corpori indeſinenter applicata, motum in eo ſuâ actione producit, quæque tempuſculo evaneſcente eadem conſtanter permanet, & uniformiter agit (117). Porrò factum ex potentiâ motrice uniformiter agente & tempore actionis æquivalet quantitati actionis; creſcit enim actionis quantitas cum potentiâ motrice & tempore actionis proportionaliter, & factum ex maſsâ corporis & celeritate, ſeu quantitas motûs producti eſt id quod actione illâ effectum eſt, ſeu quantitati actionis æquipollet, cum neceſſarius ſit nexus inter quantitatem actionis & quantitatem effectûs & alter alteri æquivaleat. Quare $y\,dt = m\,dv$, & $y = \frac{m\,dv}{dt}$.

Digitized by Google



410. Si itaque pondera non ſupponantur maſſis proportionalia, & corpora duo A, a, quorum maſſæ M, m ad idem vel diverſa virium centra C, perpendiculariter cadant, earumque vires centripetæ in ſingulis locis E, e, ſint $Y = EG$, $y = eg$, velocitates V, v, ſpatia deſcripta $X = AE$, $x = ae$, tempora quibus deſcripta ſunt T, t, invenietur (409) $v = \frac{dx}{dt}$, $V = \frac{dX}{dT}$, & $y\,dt = m\,dv$, $Y\,dT = M\,dV$, adeóque (408), $S.\,y\,dx = abge = \frac{1}{2} m v v$; & ſimiliter $S.\,Y\,dX = ABGE = \frac{1}{2} MVV$, ob conſtantes M, m; undè $v = \frac{\sqrt{2abge}}{m}$, $V = \frac{\sqrt{2ABGE}}{M}$: proindèque $v : V \frac{\sqrt{2abge}}{m} : \frac{\sqrt{2ABGE}}{M}$. Quarè $dt = \frac{dx}{v} = \frac{dx\sqrt{m}}{\sqrt{2abge}}$; & $dT = \frac{dX\sqrt{M}}{\sqrt{2ABGE}}$; undè ſi ponatur $em = \frac{1}{\sqrt{2abge}}$ & $EM = \frac{1}{\sqrt{2ABGE}}$, erit $dt = de \times em \times \sqrt{m}$, & $dT = DE \times EM \times \sqrt{M}$, ac conſequenter $t = alme \times \sqrt{m}$: & $T = ALME \times \sqrt{M}$. Unde $t : T = alme \times \sqrt{m} : ALME \times \sqrt{M}$.

SEC-

Digitized by Google

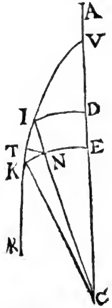
SECTIO VIII.

De inventione orbium in quibus corpora viribus quibuſcunque centripetis agitata revolvuntur.

PROPOSITIO XL. THEOREMA XIII.

Si corpus, cogente vi quâcunque centripetâ, moveatur utcunque, & corpus aliud rectà aſcendat vel deſcendat, ſintque eorum velocitates in aliquo æqualium altitudinum caſu æquales, velocitates eorum in omnibus æqualibus altitudinibus erunt æquales.

Deſcendat corpus aliquod ab *A* per *D*, *E*, ad centrum *C*, & moveatur corpus aliud a *V* in lineâ curvâ *VIKk*. Centro *C* intervallis quibuſvis deſcribantur circuli concentrici *DI*, *EK* rectæ *AC* in *D* & *E*, curvæque *VIK* in *I* & *K* occurrentes. Jungatur *IC* occurrens ipſi *KE* in *N*; & in *IK* demittatur perpendiculum *NT*; ſitque circumferentiarum circulorum intervallum *DE* vel *IN* quam minimum, & habeant corpora in *D* & *I* velocitates æquales. Quoniam diſtantiæ *CD*, *CI* æquantur, erunt vires centripetæ in *D* & *I* æquales. Exponantur hæ vires per æquales lineolas *DE*, *IN*; & ſi vis una *IN* (*per legum corol.* 2.) reſolvatur in duas *NT* & *IT*, vis *NT*, agendo ſecundum lineam *NT* corporis curſui *ITK* perpendicularem, nil mutabit velocitatem corporis in curſu illo, ſed retrahet ſolummodo corpus à curſu rectilineo, facietque ipſum de orbis tangente perpetuo deflectere, inque viâ curvilineâ *ITKk* progredi. In hoc effectu producendo vis illa tota conſumetur: vis autem altera *IT*, ſecundum corporis curſum agendo, tota accelerabit illud, ac dato tempore quam minimo accelerationem generabit



Digitized by Google

nerabit ſibi ipſi proportionalem. ([k]) Proinde corporum in *D* & *I* accelerationes æqualibus temporibus factæ (ſi ſumantur linearum naſcentium *DE*, *IN*, *IK*, *IT*, *NT* rationes primæ) ſunt ut lineæ *DE*, *IT*: temporibus autem inæqualibus ut lineæ illæ & tempora conjunctim. Tempora autem quibus *DE* & *IK* deſcribuntur, ob æqualitatem velocitatum ſunt ut viæ deſcriptæ *DE* & *IK*, ideoque accelerationes, in curſu corporum per lineas *DE* & *IK*, ſunt ut *DE* & *IT*, *DE* & *IK* conjunctim, id eſt ut *DE quad.* & *IT* × *IK rectangulum.* ([l]) Sed *rectangulum IT* × *IK* æquale eſt *IN quadrato*, hoc eſt, æquale *DE quad.* & propterea accelerationes in tranſitu corporum à *D* & *I* ad *E* & *K* æquales generantur. Æquales igitur ſunt corporum velocitates in *E* & *K*: & eodem argumento ſemper reperientur æquales in ſubſequentibus æqualibus diſtantiis. *Q. E. D.*

Sed & ([m]) eodem argumento corpora æquivelocia & æqualiter à centro diſtantia, in aſcenſu ad æquales diſtantias æqualiter retardabuntur. *Q. E. D.*

Corol. 1. Hinc ſi corpus vel oſcilletur pendens à filo, vel impedimento quovis politiſſimo & perfectè lubrico cogatur in lineâ curvâ moveri, & corpus aliud rectâ aſcendat vel deſcendat,

(k) * *Proindè corporum in D & I accelerationes æqualibus temporibus factæ ſunt ut lineæ D E, I T.* Sunt enim vires acceleratrices ut accelerationes naſcentes, ſeu celeritatum incrementa naſcentia directè & tempora inversè (13), undè temporibus æqualibus accelerationes naſcentes ſunt ut vires acceleratrices, temporibus autem inæqualibus ut vires acceleratrices & tempora conjunctim; ſed lineæ D E, I T, ſunt ut vires acceleratrices in directionibus D E, I T; ergò corporum in *D* & I accelerationes æqualibus temporibus factæ ſunt ut lineæ D E, I T; temporibus autem inæqualibus ut lineæ illæ & tempora conjunctim.

(l) * *Sed rectangulum* I T × I K *æquale eſt I N quadrato*, cum ſit K N I angulus rectus, & linea N T ab baſim I K normalis; adeóque crus I N medium proportionale inter hypothenuſam I K & illius abſciſſam I T.

(m) 411. *Et eodem argumento.* Vis enim acceleratrix motum corporis aſcendentis eodem modo retardat, quo motum deſcendentis accelerat in iiſdem locis (25); undè vera eſt propoſitio ſive corpus utrumque deſcendat aut aſcendat, ſive deſcendente uno, alterum aſcendat.

412. Si centrum C in infinitum abeat, rectæ A C, I C fiunt parallelæ & arcus D I, E K in rectas, lineis A C, I C perpendiculares, mutantur. Valet igitur propoſitio etiam ubi vis centripetæ directio A C, I C ſibi perpetuò parallela eſt, dummodò puncta D, I æque alta ſint, hoc eſt, in eàdem rectà ad directionem vis centripetæ perpendiculari ſumantur.

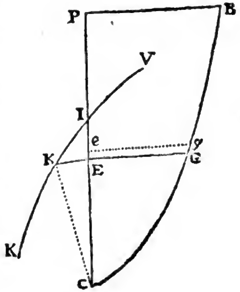
Digitized by Google

dat, ſintque velocitates eorum in eâdem quâcunque altitudine æquales: erunt velocitates eorum in aliis quibuſcunque æqualibus altitudinibus æquales. Namque corporis penduli filo vel (n) impedimento vaſis abſolutè lubrici idem præſtatur quod vi transverſâ *N T*. Corpus eo non retardatur, non acceleratur, ſed tantum cogitur de curſu rectilineo diſcedere.

Corol. 2. Hinc etiam ſi quantitas P ſit maxima à centro diſtantia, ad quam corpus vel oſcillans vel in trajectoriâ quâcunque revolvens, deque quovis trajectoriæ puncto, eâ quam ibi habet velocitate ſurſum projectum aſcendere poſſit; ſitque quantitas A diſtantia corporis à centro in alio quovis orbitæ puncto, & vis centripeta ſemper ſit ut ipſius A dignitas quælibet A^{n-1}, cujus index $n-1$ eſt numerus quilibet *n* unitate diminutus; velocitas corporis in omni altitudine A erit ut $\sqrt{P^n - A^n}$, atque ideo datur. (o) Namque velocitas rectâ aſcendentis ac deſcendentis (*per prop.* XXXIX.) eſt in hâc ipſâ ratione.

(n) * *Impedimento vaſis.* (Vid. not. 83. 86. 89. 90. 91.)

(o) 413. *Namque velocitas rectâ aſcendentis ac deſcendentis* (*per prop. XXXIX.*) *eſt in hâc ipſâ ratione* $\sqrt{P^n - A^n}$; Sit enim centrum virium C, diſtantiâ C P ex quâ corpus incipit cadere dicatur P, viſque centripeta ſit ſemper ut abſciſſarum C E (quæ dicuntur *A* in hoc Corollario) dignitas $n-1$, erigantur in omnibus punctis E perpendiculares E G vi centripetæ CE^{n-1} proportionales, perpendicularis P B in puncto P erecta dicatur b, & per omnium perpendicularium vertices ducatur curva, dicantur *x* abſciſſæ C E, dicantur *y* ordinatæ E G, erit $b : y = P^{n-1} : x^{n-1}$, ideoque $y = \frac{bx^{n-1}}{P^{n-1}}$. Unde liquet curvam hanc eſſe generis Parabolici & ejus quadraturam facilè obtineri. ſit enim E e $= dx$ fluxio abſciſſæ CE, erit E e g G $= y\,dx$ fluxio areæ C E G, & loco *y* poſito ejus valore $\frac{bx^{n-1}}{P^{n-1}}$ erit $y\,dx = \frac{bx^{n-1}}{P^{n-1}}dx$, cujus fluens eſt (165) $\frac{bx^n}{nP^{n-1}}$; quæ exprimit aream quæ reſpondet abſciſſæ *x*, ſive *A*, itaque deletis con-



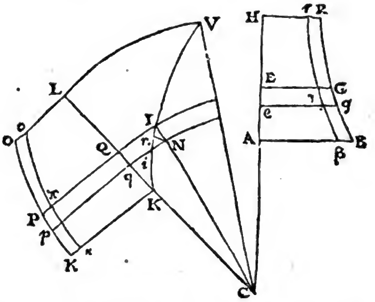
Digitized by Google

conſtantibus, erunt ſemper areæ C E G ſicut x^n ſive A^n.

Jam verò per Prop. XXXIX., velocitas corporis cadentis in puncto E, eſt ut linea quæ poteſt aream P B G E, ſive quæ poteſt differentiam arearum C P B, C E G, eſt autem ſemper C P B ad C E G ut P^n ad A^n, earum ergo differentiæ erunt ſemper ut $P^n - A^n$, ideoque velocitas corporis cadentis in E erit ſemper ut $\sqrt{P^n - A^n}$.

His poſitis ſi corpus vel oſcillans vel in trajectoriâ quâcumque V I K k revolvens in puncto I velocitatem eam habeat quâ (lineâ C I in P productâ) ex I in P aſcendere potuiſſet, vel quod idem eſt quam acquireret (25) ex P ad I decidendo, in omni aliâ altitudine C K ſive A eamdem habebit celeritatem quam corpus acquiret rectâ deſcendendo ex diſtantiâ P à centro uſque ad altitudinem æqualem C K, per Prop. præſentem, ſed celeritates corporis ex P rectâ deſcendentis erunt ſemper ut $\sqrt{P^n - A^n}$. Ergò etiam velocitates corporis in trajectoriâ revolventis erunt ſemper in quâvis diſtantiâ A à centro ut $\sqrt{P^n - A^n}$. Q. E. D.

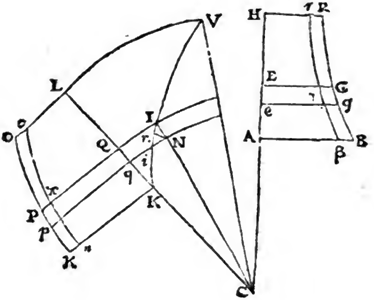
414. *Scholium.* Vera eſt Propoſitio XL, ſi corporum duorum (quorum unum in rectâ, alterum in curvâ lineâ fertur) maſſæ ſint æquales & pondera in locis æquè altis æqualia aut pondera maſſis inæqualibus proportionalia in locis æquè altis. Illud idem theorema ad majorem univerſalitatem admodum eleganter reduxit *Varignonius* in Comm. Pariſ. an. 1719. Nos quoque principiis ſuprà poſitis inſiſtentes, univerſalius NEWTONI propoſitionem demonſtrabimus.



Corpora duo quorum Maſſæ *M*; *m* ad idem vel diverſa virium centra C ex locis quibuſlibet datis H, V deſcendant, alterum quidem *M*, perpendiculariter per rectam H C; alterum verò *m* per rectam vel curvam quamvis V I K.

Primùm. De loco quovis E lineæ H C erigatur ſemper perpendicularis E G vi centripetæ in loco illo ad centrum tendenti proportionalis, ſitque R G B linea curva quam punctum G perpetuò tangit: Perpendiculares in punctis datis H & A ſint H R & A B, perpendicularis in puncto variabili E ſit E G cui proxima ducatur linea e g; velocitates in punctis datis H & A ſint *b* & *a*, velocitas in puncto variabili E ſit *V*, & vis centripeta in eo puncto dicatur *F*, cui E G eſt proportionalis, ſit abſciſſa H E, *s*, ejus fluxio E e erit *d s*, & tempuſculum quo deſcribitur

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XL.



E e lapſu corporis M ſit $d\,T$; Erit (13 & 409) vis centripeta F ſive E G $= \frac{M \times d\,V}{d\,T}$, & (5) $d\,s = V\,d\,T$. Unde erit E G $\times\, d\,s$ ſive fluxio areæ H R G E $= M V d V$, cujus fluens erit $\frac{1}{2}\,M\,V\,V$ (165) junctâ aut detractâ quâdam conſtanti quantitate; Coeuntibus enim H & E eſt in H, $V = b$ ideoque fit $\frac{1}{2}\,M\,V\,V = \frac{1}{2}\,M\,b\,b$ dum area HRGE evaneſcit, itaque (170) ex fluente $\frac{1}{2}\,M\,V\,V$ detrahenda eſt quantitas conſtans $\frac{1}{2}\,M\,b\,b$ ut areæ H R G E ſit æqualis: Coeuntibus verò E & A, cum in puncto A ſit $V = a$ erit in eo caſu H R G E ſive H R B A $= \frac{1}{2}\,M\,a\,a = \frac{1}{2}\,M\,b\,b$, & ſumpto quovis puncto E erit H R B A — H R E G ſive E G B A $= \frac{1}{2}\,M\,a\,a - \frac{1}{2}\,M\,b\,b - \frac{1}{2}\,M\,V\,V + \frac{1}{2}\,M\,b\,b = \frac{1}{2}\,M\,a\,a - \frac{1}{2}\,V\,V$, Unde ſic tandem incidimus in duas æquationes

H R G E $= \frac{1}{2}\,M\,V\,V - \frac{1}{2}\,M\,b\,b$ &

EGBA $= \frac{1}{2}\,M\,a\,a - \frac{1}{2}\,M\,V\,V$ quibus comparatis cum iis quas reſpectu corporis m in curvâ V I K moti ſimili modo deducemus, velocitates corporum in quibuſvis æqualibus vel inæqualibus altitudinibus, in quâvis virium centripetarum hypotheſi & in qualibet ponderum & maſſarum proportione conferri poterunt.

Secundò itaque, per locum K datum in curva V I K agatur recta C K L æqualis CV & centro C per punctum quodvis I lineæ V I K deſcribatur arcus circularis I Q rectæ C L occurrens in Q per punctum Q erigatur ſemper perpendiculum P Q proportionale vi Centripetæ quâ Corpus in diſtantiâ C Q verſus C urgetur: ſitque O P k curva quam punctum P perpetuò tangit, & perpendiculares in punctis datis L & K ſint L O & K k. Dicatur arcus V I, x, & linea L Q, y; ſit linea I i fluxio arcus V I, & radio C i deſcribatur arcus lineæ C L occurrens in q, & lineæ C I in N, erit Q q = I N, ex q erigatur perpendicularis q p uſque ad curvam O P K, & ex N ducatur N n perpendicularis in arcum I i.

Velocitates corporis m in punctis datis L & K dicantur c & c velocitas in puncto variabili Q ſit u: Vis totalis centripeta in Q ſemper exprimatur per Q P, eadem vis Q P aget in I (propter æquales C Q, C I, (ſecundùm directionem I N, reſolvatur ergo illa vis in vires duas quarum una agit in corpus m ſecundùm directionem I n, alte-

Digitized by Google

altera ſecundum directionem N n, erit I N ad I n ut vis tota Q P ad vim quâ corpus urgetur ſecundum curvam, ſed ob Triangula I N n, I N i ſimilia eſt I N ad I n ſicut I i ad I N ſive Q q, ideoque I i ad Q q ut vis Q P ad vim agentem ſecundum curvam quæ itaque erit $\frac{QP \times Qq}{Ii}$; ſit dt, tempuſculum quo deſcribetur I i per eam vim, eritque (13 & 409) ea vis $\frac{QP\times Qq}{Ii} = \frac{m\,du}{dt}$; Unde erit $QP \times Qq = \frac{m\,du}{dt} \times Ii$ ſed (5) eſt I i ſpatiolum percurſum tempore dt velocitate u eſt ergo æquale $u\,dt$ ideoque $QP\times Qq\,\frac{m\,du}{dt}\times u\,dt = mu\,du$, ſed $QP\times Qq = mu\,du$ eſt fluxio areæ L O Q P, hujus fluens eſt $\frac{1}{2} muu$ (165) additâ aut detractâ quâdam conſtanti quantitate, coeuntibus enim Q & L, ſit in L, $u = e$ ideoque fit $\frac{1}{2} muu = \frac{1}{2} mee$ dum area LOQP evaneſcit, itaque (170) ex fluente $\frac{1}{2} muu$ detrahenda eſt quantitas conſtans $\frac{1}{2} mee$, eritque $LOQP = \frac{1}{2} muu - \frac{1}{2} mee$, & coeuntibus Q & K ſit $u = c$ & $LOKl = \frac{1}{2} mcc - \frac{1}{2} mee$ & LOKk — LOQP ſive QPKk $= \frac{1}{2} mcc - \frac{1}{2} muu$, ſicque tandem incidimus in has duas æquationes

$LOQP = \frac{1}{2} muu - \frac{1}{2} mee$ &

$QPKk = \frac{1}{2} mcc - \frac{1}{2} muu$ eâdem methodo quâ in primo calculo ſumus uſi.

415. *Coroll.* 1. Ex primâ Æquatione primi calculi eſt $V = \frac{\sqrt{2HRGE + Mbb}}{M}$, ex primâ Æquatione ſecundi calculi eſt $u = \frac{\sqrt{2LOQP + mee}}{m}$, unde invenitur $V : u = \frac{\sqrt{2HRGE + Mbb}}{M} : \frac{\sqrt{2LOQP + mee}}{m}$.

Ex ſecundâ verò æquatione primi calculi eſt $V = \frac{\sqrt{Maa - 2EGBA}}{M}$ & ex ſecunda Æquatione 2di. calculi $u = \frac{\sqrt{mcc - 2QPKk}}{m}$, & hinc eſt $V : u = \frac{\sqrt{Maa\,2EGBA}}{M} : \frac{\sqrt{mcc - 2QPKk}}{m}$.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XL.

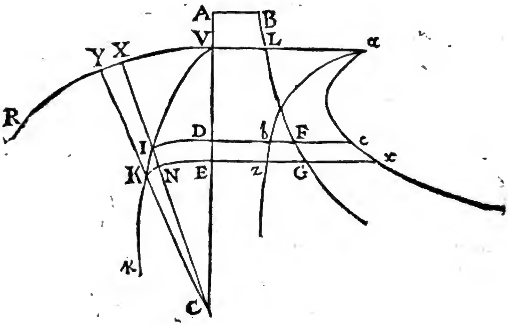
416. *Coroll.* 2. Si in perpendiculo Q P, ità capiatur Q π, ut factum π Q × m, ſit ubique gravitati corporis in I proportionale, ſeu rectæ Q P æquale, erit $2\,Lo\pi Q \times m = 2\,LOQP$, adeóque $u = \frac{\sqrt{2LOQP + mee}}{m} = \sqrt{2Lo\pi Q + ee}$ & $u\sqrt{cc - 2Q\pi\kappa K}$. Et ſimiliter ſi ponatur $E\gamma \times M = EG$, erit $V = \sqrt{2Hr\gamma E + bb}$ & $V = \sqrt{aa - 2E\gamma\beta A}$.

417. *Coroll.* 3. Si puncta H & V, E & I, fuerint æquè alta, & in illis lineæ E G, Q P vi centripetæ proportionales, ſint ſemper æquales, erit H R G E = L O P Q. Quarè ſi prætereà maſſæ M, m, & velocitates b, e, in punctis H, V, æquentur, erit $\frac{2HRGE + Mbb}{M} = \frac{2LOQP + mee}{m}$, adeóque $V = u$, in omnibus punctis æquè altis E & I. Si in punctis æquè altis H & V, E & I, vires centripetæ maſſarum M & m rationem ſemper habeant, erit H R G E : L O Q P = $M : m$, proindéque $\frac{2HRGE}{M} = \frac{2LOQP}{m}$. Undè ſi prætereà ponatur $bb = ce$, erit V = u, quæ eſt propoſitio XL. NEWTONI. Patet etiam in 4. ſuperioribus formulis (415), Maſſas M & m exterminari, ſi fuerint ponderibus proportionales.

PROPOSITIO XLI. PROBLEMA XXVIII.

Poſitâ cujuſcunque generis vi centripetâ & conceſſis figurarum curvilinearum quadraturis, requiruntur tum trajectoriæ in quibus corpora movebuntur, tum tempora motuum in trajectoriis inventis.

Tendat vis quælibet ad centrum *C* & invenienda ſit trajectoria *VIKk*. Detur circulus *VR* centro *C* intervallo quovis *CV* deſcriptus, centroque eodem deſcribantur alii quivis circuli *ID*, *KE* trajectoriam ſecantes in *I* & *K* rectamque *CV*



in *D* & *E*. Age tum rectam *CNIX* ſecantem circulos *KE*; *VR* in *N* & *X*, tum rectam *CKY* occurrentem circulo *VR* in *Y*. Sint autem puncta *I* & *K* ſibi invicem viciniſſima, & pergat corpus ab *V* per *I* & *K* ad *k*; ſitque punctum *A* locus ille de quo corpus aliud cadere debet, ut in loco *D* velocitatem acquirat æqualem velocitati corporis prioris in *I*. Et ſtantibus quæ in propoſitione XXXIX, lineola *IK*, dato tempore quam mini-

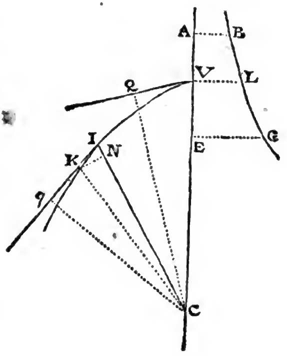
minimo deſcripta, erit ut velocitas, atque ideo ut recta quæ poteſt aream *ABFD*, & (p) triangulum *ICK* tempori proportionale dabitur, ideoque *KN* erit reciprocè ut altitudo *IC*, id eſt, ſi detur quantitas aliqua Q, & altitudo *IC* nominetur A, ut $\frac{Q}{A}$. Hanc quantitatem $\frac{Q}{A}$ nominemus Z, & ponamus eam eſſe magnitudinem ipſius Q ut ſit in aliquo caſu $\sqrt{ABFD}$ ad Z ut eſt *IK* ad *KN*, & (q) erit in omni caſu $\sqrt{ABFD}$ ad Z ut *IK* ad *KN*, & *ABFD* ad ZZ ut *IKq* ad *KNq* & diviſim *ABFD* — ZZ ad ZZ ut *IN* (r) *quad.* ad *KN quad.* ideo-

(p) * *Triangulum ICK tempori quo deſcribitur proportionale* (*per Prop. 1.*) dato tempore *dabitur*; Eſt autem trianguli ICK area $= \frac{1}{2} KN \times IC$. Quarè erit rectangulum $KN \times IC$ quantitati conſtanti æquale, & hinc lineola KN æqualis quantitati conſtanti ad IC applicatæ, hoc eſt, KN reciprocè ut IC.

(q) * *Erit in omni caſu.* Quoniam IK eſt ſemper ut $\sqrt{ABFD}$, hoc eſt IK ad $\sqrt{ABFD}$ in datâ ratione, & ſimiliter Z ad KN in datâ ratione, ſi in aliquo caſu ſit $\sqrt{ABFD}$ ad Z ut IK ad KN adeóque $\sqrt{ABFD}$ ad IK ut Z ad KN, erit in omni caſu $\sqrt{ABFD}$ ad IK ut Z ad KN, ac proindè $\sqrt{ABFD}$ ad Z ut IK ad KN.

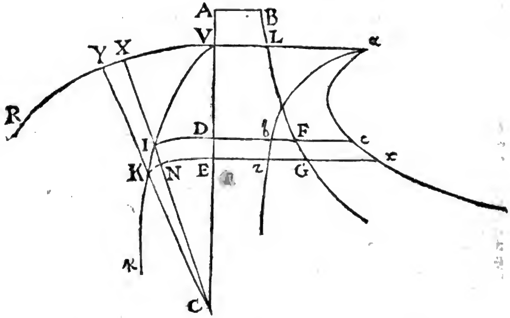
418. Ducatur VL parallela EG quæ curvæ BFG occurrat in L, & ex centro C ad QV tangentem in V, ac ad qI, tangentem in I, demiſſis perpendiculis CQ, Cq, erit $CQ \times \sqrt{ABLV}$ quantitas conſtans & æqualis $Cq \times \sqrt{ABFD}$. Nam (*per coroll. 1. prop. 1.*) velocitas in V (adeóque $\sqrt{ABLV}$) eſt ut CQ reciprocè, id eſt, ut $\frac{1}{CQ}$ directè & proindè $CQ \times \sqrt{ABLV}$ ut quantitas conſtans 1, & pariter velocitas in I (adeóque $\sqrt{ABFD}$) eſt ut Cq reciprocè, id eſt, ut $\frac{1}{Cq}$ directè, & proindè $Cq \times \sqrt{ABFD}$, ut quantitas conſtans 1, adeóque $Cq \times \sqrt{ABFD} = CQ \times \sqrt{ABLV}$.

Si itaque capiatur $Q = CQ \times \sqrt{ABLV} = Cq \times \sqrt{ABFD}$, & $Z = \frac{Q}{IC}$ (unde eſt $Q = Z \times IC$) erit ſemper $\sqrt{ABFD} : Z = IC : Cq = IK : KN$. Nam propter triangula IKN, ICq ſimilia, eſt IK ad KN ut IC ad Cq, ſed quia $Z \times IC (= Q) = Cq \times \sqrt{ABFD}$ eſt $IC : Cq = \sqrt{ABFD} : Z$ ergo $IK : KN = IC : Cq = \sqrt{ABFD} : Z$.



(r) * *Ut* IN^2, *ad* KN^2. Eſt enim ob angulum INK rectum, $IK^2 - KN^2 = IN^2$.

ideoque $\sqrt{ABFD - ZZ}$ ad Z ſeu $\frac{Q}{A}$ ut IN ad KN, & propterea $A \times KN$ æquale $\frac{Q \times IN}{\sqrt{ABFD - ZZ}}$. (f) Unde cùm $YX \times XC$ ſit ad A $\times KN$ ut CXq ad A A, erit rectangulum $XY \times XC$ æquale $\frac{Q \times IN \times CX\ quad.}{AA\sqrt{ABFD - ZZ}}$. Igitur ſi in perpendi-

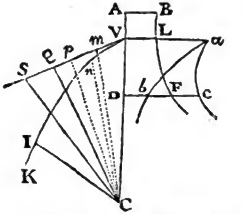


culo DF capiantur ſemper Db, Dc ipſis $\frac{Q}{2\sqrt{ABFD - ZZ}}$, $\frac{Q \times CX\ quad.}{2AA\sqrt{ABFD - ZZ}}$ æquales reſpectivè, & deſcribantur curvæ lineæ ab, ac, quas puncta b, c perpetuò tangunt; deque puncto V ad lineam AC erigatur perpendiculum Va abſcindens areas curvilineas $VDba$, $VDca$, & erigantur etiam ordinatæ Ez, Ex: quoniam rectangulum $Db \times IN$ ſeu $DbzE$ æquale eſt dimidio rectanguli A $\times KN$ ſeu triangulo ICK; & rectangulum

(f) * *Undè cùm* $YX \times XC : A \times KN = CX^2 : AA$. Sunt enim triangula naſcentia CKN, CYX ſimilia & eorum proindè areæ duplæ $YX \times XC$, $IC \times KN$ ſeu $A \times KN$, in ratione duplicatâ homologorum laterum CX, CI, ſive A.

† 419.

$Dc \times IN$ ſeu $Dc \times E$ æquale eſt dimidio rectanguli $YX \times XC$ ſeu triangulo *XCY*; hoc eſt, quoniam arearum *VDba*, *VIC* æquales ſemper ſunt naſcentes particulæ *DbzE*, *ICK*, & arearum *VDca*, *VCX* æquales ſemper ſunt naſcentes particulæ *DcxE*, *XCY*, erit area genita *VDba* æqualis areæ genitæ *VIC*, ideoque tempori proportionalis, & area genita *VDca* æqualis ſectori genito *VCX*. Dato igitur tempore quovis ex quo corpus diſceſſit de loco *V*, (†) dabitur area ipſi proportionalis *VDba*, & inde dabitur corporis altitudo *CD vel CI*; & area *VDca*, eique æqualis ſector *VCX* unà cum ejus angulo *VCI*. Datis autem angulo *VCI* & altitudine *CI* datur locus *I*,



(†) 419. *Dabitur area ipſi proportionalis.* Datâ corporis velocitate & directione ſeu tangente in V, datur ſpatium VS quod corpus in illâ tangente dato tempore quo deſcribitur area VIC uniformi motu deſcriberet. Porrò junctâ CS, area trianguli CSV æqualis erit areæ VIC, quam corpus in curvâ VIK motum deſcribit eodem tempore quo uniformiter percurreretur VS. Nam tempuſculo naſcente velocitate æquabili ſpatium Vm deſcribatur in tangente VS, & eodem tempuſculo arcus Vn deſcribatur in curvâ VIK, erit (*per prop. 1.*) area VCm = VCn, & ob velocitatem uniformem in tangente ſingulo tempuſculo lineolæ æquales Vm, mp &c. percurrentur ideoque æquabuntur triangula VCM, mCp, &c., ſed pariter omnes areæ æqualibus tempuſculis deſcriptæ in curva VIK æquantur areæ VCn ſive VCm, undè patet ſummam arearum VCm + mCp + &c. æqualem eſſe ſummæ arearum quæ eodemtempore in curvâ deſcribuntur, hoc eſt, totas areas VCS, VIC, eodem tempore deſcriptas eſſe æquales. Cùm igitur data ſit tangens VS & perpendiculum CQ in eam ductum, ex tempore dato dabitur area trianguli VCS, & area VIC ei æqualis; Hincque conceſſis figurarum quadraturis, invenietur area VDba = VCS = VIC, & indè dabitur VD, atque CD = CV − VD; dabitur quoque conſtans $Q = QC \times \sqrt{ABLV}$ (418).

420. Si ponatur variabilis IC = CD = *x*; data VC = *a*, erit VD = *a* − *x* & $Z = \frac{Q}{x}$, conceſſiſque figurarum curvilinearum quadraturis area ABFD exprimi poterit per datas AV, VC & variabilem *x*, ac proindè iiſdem quantitatibus exprimi poterunt $\frac{Q}{2\sqrt{ABFD - ZZ}}$ & $\frac{Q \times CX^2}{2AA\sqrt{ABFD - ZZ}}$ ſeu ordinatim applicatæ Db, Dc; & hinc obtinebuntur æquationes ad curvas ab, ac, ex conſtantibus & ſolis variabilibus CD, Db, vel Dc, compoſitæ, curvæque illæ poterunt deſcribi. Quoniàm porrò eſt (per conſtr.) ſector VCX, æqualis areæ VDca, erit arcus $VX = \frac{2VDca}{CV}$; quarè invenitur angulus VCX, & indè punctum I, in trajectoriâ VIK.

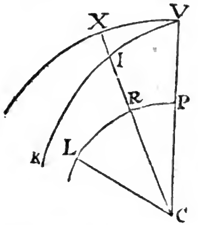
421. *Scholium.* Datâ vi centripetâ in ſingulis locis trajectoriæ VIK, & conceſſis figurarum curvilinearum quadraturis, trajectoria VIK deſcribi poteſt, ut in probl. XXVIII, licet gravitates maſſis non ſup-

in quo corpus completo illo tempore reperietur. *Q. E. I.*

Corol. 1. Hinc maximæ minimæque corporum altitudines, id eſt, apſides trajectoriarum expeditè inveniri poſſunt. Sunt enim apſides puncta illa in quibus recta *IC* per centrum ducta incidit perpendiculariter in trajectoriam *VIK*, id (t) quod fit ubi rectæ *IK* & *NK* æquantur, ideoque ubi area *ABFD* æqualis eſt ZZ.

(u) *Corol.* 2. Sed & angulus *KIN*, in quo trajectoria alicubi

ſupponantur proportionales, nec vis centripeta æqualis in æqualibus à centro diſtantiis. Nam factum M × E G, ex corporis maſſa M in perpendiculum E G, ejuſdem corporis gravitatem in loco quovis I exhibeat, ſitque B L F G curva quam punctum G perpetuò tangit, velocitas in loco V dicatur C, lineâ A B ita abſcindatur ut ſit area A B L V $= \frac{1}{2}$ C C; erit velocitas in I $= \sqrt{2\,VLFD + 2\,ABLV}$ (416), id eſt $= \sqrt{2\,ABFD}$, adeóque ut $\sqrt{ABFD}$, undè *lineola I K dato tempore quam minimo deſcripta erit ut* $\sqrt{ABFD}$, *& triangulum I C K &c.* Cætera quæ in probl. XXVIII. ſolutione ſequuntur ratiocinia & conſtructiones manent eadem.



422. Trajectoria V I K, geometricè rationalis eſt ubi per æquationes finitas inveniri poteſt ſector circuli æqualis areæ V D c a: & hujus ſectoris radius eſt ad C X radium, circuli V X Y, ut *n n* ad 1 eſtque *n n* numerus rationalis poſitivus integer vel fractus. Sit enim ſector circuli L P C = areæ V D c a, id eſt, æqualis ſectori V C X, ſitque radius C P ad radium C V, ut *n*, ad 1, erit C P × P L = C V × V X, & C P : C V = *n* : 1 = V X : P L, (*per hyp.*) & C P : C V = *n* : 1 = P R : V X (ex naturâ circuli). Quare per compoſitionem rationum & ex æquo *n n* : 1 = R P : P L. Si ergò fuerit *n n*, ad 1, ut numerus ad numerum, dato arcu P L, inveniri poterit arcus R P per æquationem finitam, cum poſſit ſemper arcus datus in datâ ratione numeri ad numerum per æquationem finitam dividi. Quoniam igitur aſſumptæ C I poſitio & punctum I, in curvâ V I K per finitas æquationes determinantur, erit V K curva algebraica ſeu geometricè rationalis. *Hermannus prop.* 25. *Lib.* I. *Phoron.* hoc elegans & difficile problema ſolvit: invenire canonem generalem determinandæ gravitatis variabilis pro omnibus curvis algebraicis in infinitum, quantitatibus finitis expreſſum.

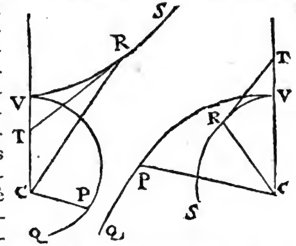
(t) * *Id quod fit ubi rectæ I K & K N æquantur.* Tunc enim punctum N coincidit cum puncto I, ob angulum K I N rectum, adeóque ob proportionem $\sqrt{ABFD}$: Z = IK : KN, fit $ABDF = ZZ = \frac{QQ}{IC^2}$, & $IC^2 \times ABFD = QQ$ quantitati datæ. Hinc cum conceſſis curvarum quadraturis data ſit area A B F D in quantitatibus conſtantibus & variabili I C ſeu C D, invenietur valor I C, hoc eſt, maximæ & minimæ altitudines corporis trajectoriam V K deſcribentis.

(u) * *Coroll.* 2. Ob angulum K N I rectum in triangulo naſcente K I N, ſinus anguli K I N eſt ad ſinum totum, ut K N ad IK, id eſt, ut Z (ſeu $\frac{Q}{IC}$) ad $\sqrt{ABFD}$. Verùm datâ I C datur area A B F D, & indè ob quantitatem Q datam datur ratio

Q

bi ſecat lineam illam *IC*, ex datâ corporis altitudine *IC* expeditè invenitur; nimirum capiendo ſinum ejus ad radium ut *KN* ad *IK*, id eſt, ut Z ad latus quadratum areæ *ABFD*.

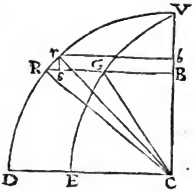
(x) *Corol.* 3. Si centro *C* & vertice principali *V* deſcribatur ſectio quælibet conica *VRS*, & à quovis ejus puncto *R* agatur tangens *RT* occurrens axi infinitè producto *CV* in puncto *T*; dein junctâ *CR* ducatur recta *CP*, quæ æqualis ſit abſciſſæ *CT*, angulumque *VCP* ſectori *VCR* proportionalem conſtituat; tendat autem ad centrum *C* vis centripeta cubo diſtantiæ locorum à centro reciprocè proportionalis, & exeat corpus de loco *V* juſtâ cum velocitate ſecundum lineam rectæ *CV* perpendicularem: progredietur



$\frac{Q}{IC}$ ad $\sqrt{ABFD}$, hoc eſt, ratio ſinûs anguli K I N, ad radium. Invenietur ergò ſinus anguli K I N, & hinc angulus ipſe cognoſcetur.

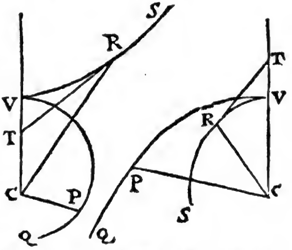
(x) 423. *Lemma.* Si fuerit D V C, circuli quadrans cujus radius C V $= r$ abſciſſa C B $= z$, ordinatæ infinitè propinquæ B R, b r, fluxio arcûs D R erit $\frac{r\,dz}{\sqrt{rr-zz}}$, & fluxio ſectoris C D R $= \frac{\frac{1}{2}rr\,dz}{\sqrt{rr-zz}}$. Eſt enim B R $= \sqrt{rr-zz}$, & demiſſâ ex puncto r in R B, perpendiculari r s, triangula ſimilia R C B, r R s, dant R B $(\sqrt{rr-zz})$: R C (r) = r s $(dz$: R r $= \frac{r\,dz}{\sqrt{rr-zz}}$. Q. e. 1. Porrò ſector naſcens C R r $= \frac{1}{2}$ C R × R r $= \frac{\frac{1}{2}rr\,dz}{\sqrt{rr-zz}}$. Q. e. 2.

424. *Coroll.* Si fuerit E G V C, quadrans ellipſeos cujus centrum C, ſemiaxis unus C V $= r$, alter ſemiaxis C E $= c$, abſciſſa C B $= z$, & B G ordinatim applicata ad axem C V, ſectoris C E G fluxio erit $= \frac{\frac{1}{2}rc\,dz}{\sqrt{rr-zz}}$. Sunt enim ſectores C D R, CEG; adeóque & eorum fluxiones in datâ ratione r ad c, (251).



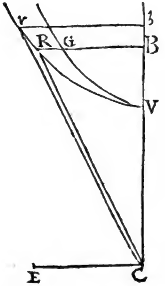
DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XLI.

dietur corpus illud in trajectoriâ VPQ quam punctum P perpetuò tangit; ideoque ſi conica ſectio VRS hyperbola ſit, deſcendet idem ad centrum: Sin ea ellipſis ſit, aſcendet illud perpetuò & abibit in infinitum. Et contra, ſi corpus quâcunque cum velocitate exeat de loco V, & perinde ut incœperit vel obliquè deſcendere ad centrum, vel ab eo obliquè aſcendere, figura VRS vel hyperbola ſit



425. *Lemma.* Si fuerit V R r, hyperbola æquilatera cujus centrum c, ſemiaxis tranſverſus C V $= r$, abſciſſa C B $= z$, R B ad axem ordinatim applicata, ſectoris hyperbolici C R V fluxio erit $\frac{\frac{1}{2} rr\,dz}{\sqrt{zz - rr}}$. Agatur enim r b ordinata, priori R B infinitè propinqua, ſitque R B $= y$, erit (ex naturâ hyperbolæ æquilateræ) $yy = zz - rr$, & $y = \sqrt{zz - rr}$. Undè $2y\,dy = 2z\,dz$, & $dy = \frac{z\,dz}{\sqrt{zz - rr}}$. Porrò triangulum C R B $= \frac{1}{2} zy$, & illius fluxio $= \frac{1}{2} z\,dy + \frac{1}{2} y\,dz =$ trapeſio BbrR + triang. C r R; ſed trapeſium naſcens B b r R $= y\,dz$, ergò ſector naſcens C r R $= \frac{1}{2} z\,dy - \frac{1}{2} y\,dz$ $= \frac{\frac{1}{2} zz\,dz}{\sqrt{zz - rr}} - \frac{1}{2} dz \times \sqrt{zz - rr}$ $= \frac{\frac{1}{2} zz\,dz - \frac{1}{2} zz\,dz + \frac{1}{2} rr\,dz}{\sqrt{zz - rr}}$ $= \frac{\frac{1}{2} rr\,dz}{\sqrt{zz - rr}}$. Q. e. D.

426. *Coroll.* 1. Quoniam (ex demonſtratis) $dy = \frac{z\,dz}{\sqrt{zz - rr}}$, & $yy = zz - rr$, erit $\frac{dz}{\sqrt{zz - rr}} = \frac{dy}{z}$, & $z = \sqrt{yy + rr}$,

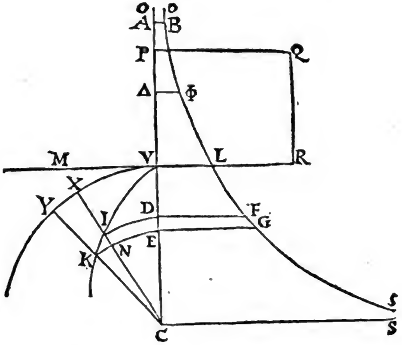


adeóque C r R $= \frac{\frac{1}{2} rr\,dz}{\sqrt{zz - rr}} = \frac{\frac{1}{2} rr\,dy}{\sqrt{yy + rr}}$.

427. *Coroll.* 2. Si deſcripta fuerit altera hyperbola G V, cujus idem centrum C, idem ſemiaxis tranſverſus C V $= r$, ſemiaxis conjugatus C E $= c$; ſectoris C G V fluxio erit $= \frac{\frac{1}{2} rc\,dz}{\sqrt{zz - rr}} = \frac{\frac{1}{2} rc\,dy}{\sqrt{yy + rr}}$. Eſt enim ſector C R V ad ſectorem C G V, adeóque [illegible] fluxio ad fluxionem [illegible] ſicut [illegible] ad c (§ [illegible])

428.

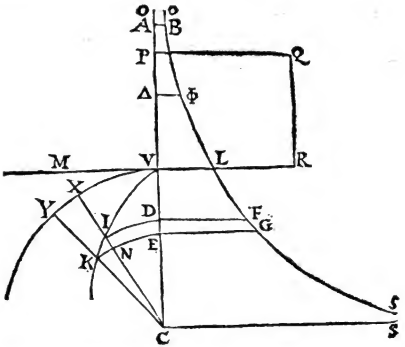
ſit vel ellipſis, inveniri poteſt trajectoria augendo vel minuendo angulum *VCP* in datâ aliquâ ratione. Sed &, vi centripetâ in centrifugam versâ, aſcendet corpus obliquè in trajectoriâ *VPQ*, quæ invenitur capiendo angulum *VCP* ſectori elliptico *VRC* proportionalem, & longitudinem *CP* longitudini *CT* æqua-



428 *Lemma.* Iiſdem poſitis quæ in ſuperioribus NEWTONI propoſitionibus, ſit CV $= r$, CA $= a$, CD vel C$\Delta = x$, DF vel $\Delta\Phi = y$, & ſi fuerit vis centripeta in loco quovis D ut $\frac{1}{CD^{3}}$, ſitque $2f^{4}$ quantitas data, erit $y = \frac{2f^{4}}{x^{3}}$, æquatio ad curvam BFG, & quoniam in æquatione y infinit[illegible] ev[illegible] [illegible] x [illegible]onatur $= o$, & ſimiliter x infini[illegible] [illegible] $y = o$, liq[illegible] rect[illegible] ſibi mutuò perpendicular[illegible] [illegible] CS eſſe curvæ BFG a[illegible] [illegible]os. Area DFGE $=$ [illegible] $dx = \frac{2f^{4}dx}{x^{3}}$, undè ſumptis [illegible] in infinitum versùs S protenſa CDFsSC $= Q - \frac{f^{4}}{xx}$; Ponatur x infinita, & erit $\frac{f^{4}}{xx} = o$, & area CDFsS, mutabitur in aream utrinque infinitè protenſam COosSC; quarè COosSC $= Q$, & hinc COosSC $-$ CDFsSC $=$ ODFo $= Q - Q + \frac{f^{4}}{xx} = \frac{f^{4}}{xx}$, id eſt, area ODFo, vel O$\Delta\Phi$o versus O in infinitum extenſa, æqualis eſt quantitati finitæ $\frac{f^{4}}{xx}$.

 429. Co-

qualem ut ſupra. Conſequuntur hæc omnia ex propoſitione præcedente, per curvæ cujuſdam quadraturam, cujus inventionem, ut ſatis facilem, brevitatis gratiâ miſſam facio.



429. *Coroll.* 1. Area infinitè protenſa $OVLo = \frac{f^4}{rr}$; area $OABo = \frac{f^4}{aa}$ & proindè $\sqrt{OVLo} = \frac{ff}{r}$, $\sqrt{OABo} = \frac{ff}{a}$.

430. *Coroll.* 2. Area $ABLV = OVLo - OABo = \frac{f^4 \times aa - rr}{rraa} = \frac{f^4 cc}{rraa}$, ponendo $aa - rr = cc$ (429) undè $\sqrt{ABLV} = \frac{f^2 c}{ra}$.

431. *Coroll.* 3. Similiter ſi punctum D ſit inter puncta data C, V, & punctum Δ inter puncta data V, A; erit area $AB\Phi\Delta$, vel $ABFD = \frac{f^4 \times aa - xx}{aaxx}$, area $VLFD = \frac{f^4 \times rr - xx}{rrxx}$ $\Delta\Phi LV = \frac{f^4 \times xx - rr}{rrxx}$. (428. 429. 430.)

432. Iiſdem manentibus quæ in Lemmate ſuperiori (428) ſi corpus de loco V, cum velocitate quâlibet ſecundùm directionem V M ad C V perpendicularem projiciatur ut curvam V I K deſcribat, erit V M hujus curvæ tangens in puncto V, C V ad tangentem V M normalis, & velocitas projectionis æqualis erit velocitati quam corpus ex diſtantiâ infinitâ O V, cadendo acquireret in loco V, vel eâ minor, vel major.

433. *Primus caſus.* Velocitas projectionis æqualis ſit velocitati per ſpatium infinitum O V cadendo acquiſitæ in loco V, erit (418) quantitas data $Q = CV\sqrt{OVLo} = ff$ (429) & $Z = \frac{Q}{IC} = \frac{ff}{x}$. Sed (*per prop.* 41.) $\sqrt{ODFo} : Z = IK : KN$, hoc eſt, (428) $\frac{ff}{x} : \frac{ff}{x} = IK : KN$, ergò $IK = KN$, proindèque angulus K I N rectus eſt (*cor.* 2. *prop.* 41.) In hoc igi-

tur

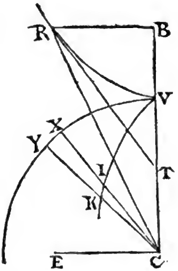
tur caſu trajectoria V I K eſt circulus V X Y radio C V deſcriptus.

434. Hinc ſi velocitas projectionis minor fuerit velocitate quæ ex infinitâ diſtantiâ cadendo acquiritur in loco V, corpus in trajectoriâ V K motum ad centrum virium C perpetuò accedet, velocitas illius perpetuò creſcet, & punctum D ſemper erit inter data puncta V & C ſitum. Si verò projectionis velocitas major ſit velocitate per infinitum ſpatium cadendo acquiſitâ, corpus in trajectoriâ V I K, à centro ſemper recedet, illius velocitas continuò decreſcet & punctum Δ puncto I correſpondens, puncto dato V ſuperius erit.

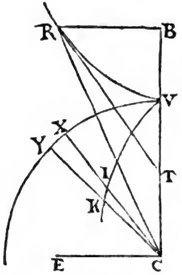
435. Si manente caſûs primi hypotheſi, directio V M ad C V perpendicularis non ſit, & perpendiculum è centro C in projectionis directionem demiſſum dicatur p, erit $Q = \frac{pff}{r}$, $Z = \frac{pff}{rx}$, & $\sqrt{ODFo}\left(\frac{f^2}{x}\right) : Z\left(\frac{pff}{rx}\right) = r : p = IK : KN$. Hoc eſt, (*per coroll.* 2. *prop.* 41.), ſinus totus ad ſinum anguli K I N, in datâ ratione adeóque angulus K I N datus, & trajectoria V K ſpiralis logarithmica.

436. *Caſus ſecundus.* Velocitas projectionis æqualis ſit velocitati quam corpus de loco aliquo dato A, cadendo haberet in V. erit $Q = CV \times \sqrt{ABLV} = \frac{ffc}{a}$ (430) $Z = \frac{ffc}{ax}$, $ZZ = \frac{f^4cc}{aaxx}$, $ABFD = \frac{f^4 \times aa - xx}{aaxx}$ (431.), undè $ABFD - ZZ = \frac{f^4 \times aa - cc - xx}{a^2x^2} = \frac{f^4 \times rr - xx}{a^2x^2}$, ob $a^2 - cc = rr$ (430) & $\sqrt{ABFD - ZZ} = \frac{ff\sqrt{rr - xx}}{ax}$. Cum igitur (*in prop.* 41.) ſit $A = IC = CD = x$, $DE = IN = dx$, $CX = CV = r$, erit $\frac{Q \times CX^2 \times IN}{2AA} = \frac{\frac{1}{2}ffrrc\,dx}{axx}$ & $\frac{Q \times CX^2 \times IN}{2AA\sqrt{ABFD - ZZ}} = \frac{\frac{1}{2}rrc\,dx}{x\sqrt{rr - xx}}$ = ſectori C X Y. Quoniam autem creſcente I C ſeu x, decreſcit ſector Y X C (434) ſcribendum eſt $CXY = -\frac{\frac{1}{2}rrc\,dx}{x\sqrt{rr - xx}}$ (159).

Ponatur $x = \frac{rr}{z}$, erit $xx = \frac{r^4}{zz}$, $rr - xx = \frac{rrzz - r^4}{zz}$, $\sqrt{rr - xx} = \frac{r\sqrt{zz - rr}}{z}$, & $zx = rr$, ſumptiſque fluxionibus $zdx + xdz = 0$, proindè $-\frac{dx}{x} = \frac{dz}{z}$, hiſque valoribus ſubſtitutis invenitur $-\frac{\frac{1}{2}rrc\,dx}{x\sqrt{rr - xx}} = \frac{\frac{1}{2}rc\,dz}{\sqrt{zz - rr}} = CXY$.



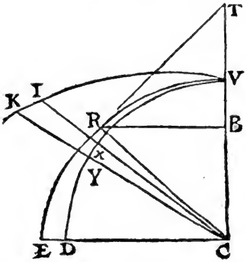
Centro C, ſemiaxe tranſverſo C V = r ſemiaxe conjugato C E = c, deſcribatur hyperbola V R, ex cujus puncto quovis R, demittatur ad axem perpendiculum R B, & tangens R T, axi occurrens in T, & CB, dicatur = z, erit (427) $\frac{\frac{1}{2}rc\,dz}{\sqrt{zz - rr}}$, fluxio ſectoris hyperbolici C R V, & (*ex conicis*) C B (z) : C V (r) = C V (r) : $CT = \frac{rr}{z} = x = CI$. Itaque cum ſit $CXY = \frac{\frac{1}{2}rc\,dz}{\sqrt{zz - rr}}$, ſi ſumantur utrinque fluentes additâ conſtanti Q erit ſector circuli C X V, æqualis ſectori hyperbolico C R V + Q. invenitur autem Q = 0. Nam poſitâ C T ſeu $x = r$,



$x = r$, ſit quoque $z = r$, ob $\frac{rr}{z} = z$; & puncta B & V coeunt, evaneſcitque ſector C R V, & quoniam poſitâ $x = r$ corpus projectum eſt in V, punctum X coincidet quoque in hoc caſu cum puncto V, & ſit CXV=o, undè æquatio CXV=CRV+Q, mutatur in hanc o = o + Q. Nulla igitur eſt quantitas conſtans addenda vel ſubducenda, ſed eſt ſemper CXV=CRV. Quare invenitur punctum I in trajectoriâ V I K, capiendo ſectorem C X V = C R V, & in lineâ C X ſumendo C I = C T.

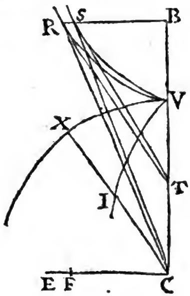
437. *Caſus* 3us. Projectionis velocitas major ſit velocitate per ſpatium infinitum cadendo acquiſitâ. Sit P locus de quo corpus cadere debet ut urgente gravitate uniformi velocitatem acquirat in loco V æqualem velocitati projectionis. In perpendiculo V L, capiatur V R ad V L in ratione vis gravitatis uniformis ad vim centripetam variabilem in loco V, & compleatur rectangulum P V R Q cujus latus quadratum dicatur e; & velocitas projectionis erit ut e, (*per cor.* 1. *prop.* 39.) Quarè (430) $Q = re$, $ZZ = \frac{rree}{xx}$; & quoniam velocitas corporis trajectoriam V I K deſcribentis continuò decreſcit atquè corpus à centro C perpetuò recedit (434), loco areæ A B F D, (*prop.* 41.) capienda eſt quantitas $ee - \Delta\Phi LV = ee - \frac{f^4 \times xx - rr}{rrxx}$ (431) $= \frac{rreexx - f^4xx + f^4rr}{rrxx}$; & quantitas ABFD—ZZ, (*prop.* 41.) erit hic $= \frac{r^2e^2xx - f^4xx + f^4rr - r^4ee}{rrxx}$. Eſt autem area rectanguli P V R Q major areâ infinitè protensâ O V L o, hoc eſt, quantitas ee major quam $\frac{f^4}{rr}$, & proindè $rree - f^4$, quantitas poſitiva, fiat igitur $rree - f^4 bbrr$, & quantitas ABFD—ZZ, (*prop.* 41.) evadet $= \frac{bbrrxx - bbr^4}{rrxx}$, & $\sqrt{ABFD - ZZ} = \frac{b\sqrt{xx = rr}}{x}$; Hinc factis debitis ſubſtitutionibus, formula (*prop.* 41.) $\frac{Q \times CX^2 \times IN}{2AA\sqrt{ABFD - ZZ}}$, in hanc mutabitur $\frac{r1edx}{2xx} \times \frac{x}{b\sqrt{xx - rr}} = \frac{\frac{1}{2}r1edx}{bx\sqrt{xx - rr}} = \frac{\frac{1}{2}r^2cdx}{x\sqrt{xx - rr}}$ ponendo $\frac{re}{b} = c$. Quarè ſector circuli $CXY = \frac{\frac{1}{2}r^2cdx}{x\sqrt{xx - rr}}$. Fiat $x = \frac{rr}{z}$ & erit $\frac{dx}{x} = \frac{-dz}{z}$, ac $\sqrt{xx - rr}\ \frac{r\sqrt{rr - zz}}{z}$ atquè $\frac{\frac{1}{2}r^2cdx}{x\sqrt{xx - rr}} = -\frac{\frac{1}{2}rcdz}{\sqrt{rr - zz}} = CXY$. Centro C, ſemiaxe C V $= r$, & altero ſemiaxe C E $= c$, deſcribatur ellipſeos quadrans V E, ex cujus puncto quovis R agatur ad axem C V perpendiculum R B, & tangens R T axi producto occurrens in T, & C B dicatur $= z$, erit (ex conicis) C B (z) : CV (r) = CV (r) : CT $= \frac{rr}{z} = x =$ CI; & (424) $\frac{\frac{1}{2}rcdz}{\sqrt{rr - zz}}$, fluxio ſectoris elliptici CRE; quarè cum ſit $CXY = -\frac{\frac{1}{2}rcdz}{\sqrt{rr - zz}}$, ſi ſumantur utrinque fluentes additâ conſtanti Q, erit ſector circuli C X V = Q — C R E. Ut inveniatur valor quantitatis conſtantis Q, ponatur C X V = o, erit Q = C R E; ſed ubi CXV = o puncta X & I cum puncto V coeunt, & ſit C T ſeu C I

Digitized by Google



C I = C V, adeóque punctum R coincidit etiam cum puncto V, & ſector C E R, æqualis fit quadranti CE V; ergò Q=CEV. Eſt igitur ſemper C X V = C E V — C R E = C R V. Itaque ut inveniatur trajectoriæ V I K punctum I, capiatur ſector circuli C X V, æqualis ſectori elliptico C R V, & in lineâ C X, productâ capiatur C I = C T, erit I punctum in trajectoriâ quæſitâ.

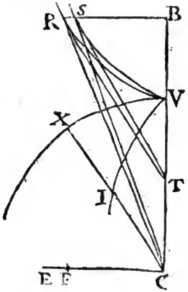
438. Datâ velocitate projectionis & magnitudine vis centripetæ variabilis, hoc eſt, ipſius ratione ad aliquam vim centripetam uniformem notam in loco dato V, (*fig. not.* 430.) deſcribi poteſt trajectoria V I K. Iis enim datis, dabitur locus P ex quo corpus urgente vi centripetâ conſtante cadere debet ut in loco V datam projectionis velocitatem habeat; & ſumptâ V R ad V L in datâ ratione vis centripetæ conſtantis ad vim centripetam variabilem in loco V, dabitur rectangulum P Q R V. Porrò ſi rectangulum illud æquale fuerit areæ infinitè protenſæ O V L o, corpus circulum deſcribet (*per caſ.* 1. *not.* 433.); ſi rectangulum minus eſt areâ O V L o, inveniri poterit punctum A, ex quo ducta perpendicularis AB, abſcindat aream ABLV æqualem rectangulo P Q R V; & trajectoria VIK, deſcribetur (*per conſtr. caſ.* 2[i].) (436). Si rectangulum PQRV areâ OVLo majus eſt, adhibenda erit conſtructio caſûs 3[i]. (439). Obſervandum autem eſt ſectores circulares eſſe angulis ſuis ad centrum proportionales; undè in ſuperioribus conſtructionibus loco ſectorum circuli, uti poſſumus angulis qui ad ſectores hyperbolicos vel ellipticos datam habeant rationem.



439. Caſus 2us. & 3us. conſtrui poſſunt per hyperbolam vel ellipſim, cujus ſit ſemiaxis CV = *r*, & alter ſemiaxis quilibet. Nam iiſdem poſitis quæ in conſtructione caſûs 2[i]., ſemiaxe tranſverſo C V = *r*, & ſemiaxe quovis conjugato C F, deſcribatur hyperbola altera S V, quam in S ſecat perpendiculum R B; tangentes R T, S T per puncta R, S ductæ axi occurrunt in eodem puncto T, (257) & ſector C R V eſt ad ſectorem C S V in datâ ratione C E ad C F (374). Quarè cùm (*per conſtr. caſ.* 2[i].) ſector circuli C X V æqualis ſit ſectori C R V, erit etiam ad ſectorem C S V in datâ ratione C E ad C F, atquè ità punctum trajectoriæ I invenietur capiendo ſectorem C X V ad ſectorem C S V, in datâ ratione C E ad C F, & in radio C X, capiendo C I = C T. Idem eodem modo demonſtratur in caſu 3°.

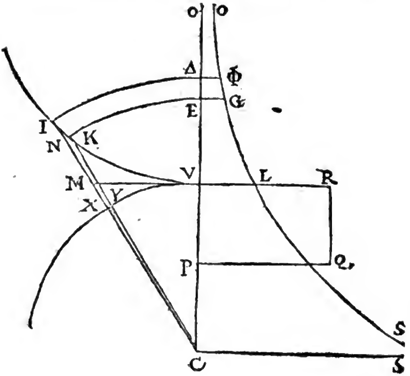
440. Hinc ſi (juxtà conſtructionem *Coroll.* 3. *prop.* 41.) deſcribatur curva V I capiendo angulum V C I ſectori conico V C R proportionalem, vel quod in idem recidit, capiendo ſectorem circuli C X V ad ſectorem conicum V C R in

Digitized by Google



in datâ ratione, & C I = CT, inveniri poterit velocitas quâ corpus de loco V, ſecundùm lineam ipſi C V perpendicularem projici debet ut in trajectoriâ deſcriptâ V I progrediatur. Nam ſit V S hyperbola quævis, centro C, ſemiaxe tranſverſo C V = r, ſemiaxe conjugato C F deſcripta, data erit ratio ſectoris circuli C X V, ad ſectorem hyperbolicum C S V, (*ex hyp.*) ſeu (439.) ratio C E ad datam C F; ergò dabitur C E, ſeu c; Eſt autem in caſ. 2°. (430, 436) $cc = aa - rr$ adeóque $aa = rr + cc$; & hinc datis r & c, dabitur a, ſeu A C, *fig. not.* 428). Dato autem puncto A, & vi centripetâ, datur rectangulum P Q R V, æquale areæ A B L V, & indè velocitas projectionis habetur, (438). Si trajectoria V I, per ſectores ellipſeos deſcripta fuerit, ſimiliter invenietur c; eſt autem in caſu 3°. (437) $c = \frac{re}{b}$, & $rree - f^4 = bbrr$, adeóque $b = \frac{re}{c}$, $bb = \frac{rree}{cc}$, & $bb = \frac{rree - f^4}{rr} = \frac{rree}{cc}$; quarè $ccrree - r^4ee = f^4cc$, & $ee = \frac{f^4cc}{ccrr = r^4} = \frac{f^4}{rr} \times \frac{cc}{cc - rr}$, cùm igitur datæ ſint c, & r, ac $\frac{f^4}{rr}$ = areæ datæ O V L o (429); dabitur ee, ſeu rectangulum P Q R V (437) & hinc velocitas projectionis in V, habetur (438). Patet autem in hoc caſu c majorem eſſe debere radio r, ſeu C V, alioquin problema eſſet impoſſibile, cum ſit $e = \frac{ff}{r} \times \frac{c}{\sqrt{cc - rr}}$.

441. Vis centripeta in centrifugam vertatur, ſeu directionem in contrariam mutet, & corpus per rectam V M ad C V perpendicularem cum quâvis velocitate projiciatur, ut trajectoriam V K I deſcribat. Sit ut in caſu 3°. (437) P V ſpatium per quod vi centrifugâ conſtante urgeri debet corpus ut velocitatem acquirat in V velocitati projectionis æqualem, & R V ad L V ut vis centrifuga conſtans ad variabilem in V, & rectangulum P R Q V, dicatur ee; velocitas projectionis in V, erit ut e, (*per cor.* 1. *prop.* 39.) & quoniam velocitas in receſſu à centro ſemper creſcit, erit velocitas in I vel Δ, ut $\sqrt{ee + \Delta\Phi LV}$, quæ (in formulâ *prop.* 41.) ſubſtitui debet loco $\sqrt{ABFD}$. Invenietur etiam (430) $Q = re$, $ZZ = \frac{rree}{xx}$, $ee + \Delta\Phi LV = ee + \frac{f^4 \times \overline{xx - rr^2}}{rrxx}$ (431) $= \frac{rreexx + f^4xx - f^4rr}{rrxx}$. Hinc quantitas $ABFD - ZZ$ (*prop.* 41.) fiet hic $= \frac{rreexx + f^4xx - f^4rr - r^4ee}{rrxx} = \frac{bbrrxx - bbr^4}{xx}$, ponendo $rree + f^4 = bbrr$. Quarè $\sqrt{ABFD - ZZ} = \frac{b\sqrt{xx - rr}}{x}$. Factis igitur debitis ſubſtitutionibus, formula *prop.* 41. $\frac{Q \times CX^2 \times IN}{2AA\sqrt{ABFD - ZZ}}$, in hanc mutatur $\frac{\frac{1}{2}r^3e\,dx}{bx\sqrt{xx - rr}} = \frac{\frac{1}{2}r^2c\,dx}{x\sqrt{xx - rr}}$, ponendo $\frac{re}{b} = c$. Quarè ſector circuli $CXY = \frac{\frac{1}{2}r^2c\,dx}{bx\sqrt{xx = rr}}$, ut in caſ. 3°. (437). Igitur trajectoria VI conſtruetur per ſectores ellipticos prorſus ut in hoc 3°. caſu.

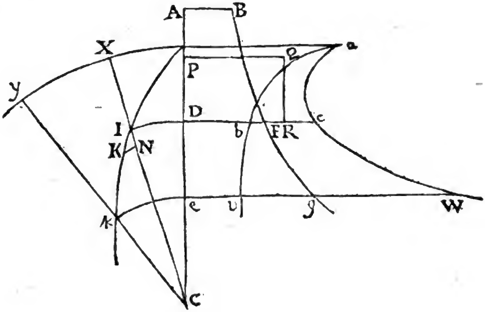


442. *Schol. Keillius* ad calcem *Introductionis ad veram Aſtronomiam*, inverſum problema virium centripetarum in ratione triplicatâ diſtantiæ à centro decreſcentium generatim ac perſpicuè ſolvit, & trajectoriarum quæ in hâc hypotheſi deſcribuntur plures proprietates demonſtravit, inter alias iſtam, earum omnium, ſi circulum exceperis, areas eſſe perfectè quadrabiles, quæ quidem de omnibus trajectoriis *per conſtr. coroll.* 3. *prop.* 41. deſcriptis facilè demonſtratur. Nam (*per prop.* 41.) arearum illarum fluxio $CIK = \frac{Q \times IN}{2\sqrt{ABFD - ZZ}} = \frac{-\frac{1}{2} cxdx}{\sqrt{rr - xx}}$ in caſ. 2°. & $CIK = \frac{Q \times IN}{2\sqrt{ABFD - ZZ}} = \frac{\frac{1}{2} cxdx}{\sqrt{xx - rr}}$ in caſu 3°. (437. 441.). Ponatur 1°. $\sqrt{rr - xx} = z$; & erit $rr = xx = zz$, $-xdx = zdz$, & $-\frac{\frac{1}{2} cxdx}{\sqrt{rr - xx}} = CIK = \frac{1}{2} cdz$, & ſumptis fluentibus, ſector $CIV = \frac{1}{2} cz = \frac{1}{2} c\sqrt{rr - xx}$, nulla enim eſt addenda quantitas conſtans. Ponatur 2°. $\sqrt{xx - rr} = y$, & proindè $xx - rr = yy$, $xdx = ydy$, erit $CIK = \frac{\frac{1}{2} cxdx}{\sqrt{xx - rr}} = \frac{1}{2} cdy$, & ſector fluens $CIV = \frac{1}{2} cy = \frac{1}{2} c\sqrt{xx - rr}$.

PROPOSITIO XLII. PROBLEMA XXIX.

Datâ lege vis centripetæ, requiritur motus corporis de loco dato; datâ cum velocitate, ſecundum datam rectam egreſſi.

Stantibus quæ in tribus propoſitionibus præcedentibus: exeat



corpus de loco *I* ſecundum lineolam *IK*, eâ cum velocitate quam corpus aliud, vi aliquâ uniformi centripetâ, de loco *P* cadendo acquirere poſſet in *D*: ſitque hæc vis uniformis ad vim, quâ corpus primum urgetur in *I*, ut *DR* ad *DF*. Pergat autem corpus verſus *k*; centroque *C* & intervallo *Ck* deſcribatur circulus *ke* occurrens rectæ *PD* in *e*, & erigantur curvarum *BFg*, *abv*, *acw* ordinatim applicatæ *eg*, *ev*, *ew*. (y) Ex dato

(y) * *Ex dato rectangulo PDRQ &c.* Ex datâ vis centripetæ lege, datur curva linea B F G, (*per conſtr. 1ª. partis prop. 39.*) Dato rectangulo P D R Q, datur locus A, de quo corpus urgente vi centripetâ variabili cadere debet, ut velocitatem acquirat in loco D, æqualem velocitati quam corpus aliud urgente aliquâ uniformi vi centripetâ notâ ex loco P cadens acquiſivit eodem loco D,) *per cor. 1. prop. 39.*) dato autem loco A, & deſcriptâ curvâ B F g, deſcribi poterit altera curva V L M, (*per conſtr. & fig. 2ª. partis, Prop. 39*).

Digitized by Google

dato rectangulo $PDRQ$, datâque lege vis centripetæ quâ corpus primum agitatur, datur curva linea BFg, per conſtructionem problematis XXVII, & ejus corol. 1. (z) Deinde ex dato angulo CIK datur proportio naſcentium IK, KN, & inde, per conſtructionem prob. XXVIII. datur quantitas Q, unà cum curvis lineis abv, acw: ideoque, completo tempore quovis $Dbve$, datur tum corporis altitudo Ce vel Ck, tum area $Dcwe$, eique æqualis ſector XCy, angulusſque ICk, & locus k in quo corpus tunc verſabitur. *Q. E. I.*

Supponimus autem in his propoſitionibus vim centripetam in receſſu quidem à centro variari ſecundum legem quamcunque, quam quis imaginari poteſt, in æqualibus autem à centro diſtantiis eſſe undique eandem. Atque hactenus motum corporum in orbibus immobilibus conſideravimus. Supereſt ut de motu eorum in orbibus, qui circa centrum virium revolvuntur, adjiciamus pauca.

(z) * *Deinde.* Cùm ſit I K ad K N, ut ſinus totus ad ſinum anguli dati N I K, (*per corol.* 2. *prop.* 41.) dabitur quantitas conſtans Q, unà cum curvis lineis a b u, a c w, eſt enim $IK : KN = \sqrt{ABFD}$ (ſive $\sqrt{PDRQ}$) : Z; eſt ergo data Z (*per conſtr. probl.* 28. *& not.* 428). & $Z = \frac{Q}{A}$ ſive $A \times Z = Q$ unde habetur, Q, ex quibus habentur quantitates $\frac{Q}{2\sqrt{ABFD - ZZ}}$ & $\frac{Q \times CX^2}{2A^2 \times \sqrt{ABFD - ZZ}}$ quæ ſunt ordinatæ curvarum a b v, a c w.

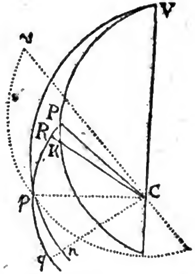
SECTIO IX.

De motu corporum in orbibus mobilibus, deque motu apſidum.

PROPOSITIO XLIII. PROBLEMA XXX.

(a) *Efficiendum eſt ut corpus in trajectoriâ quâcunque circa centrum virium revolvente perinde moveri poſſit, atque corpus aliud in eâdem trajectoriâ quieſcente.*

In orbe *VPK* poſitione dato revolvatur corpus *P* pergendo à *V* verſus *K*. A centro *C* agatur ſemper *Cp*, quæ ſit ipſi *CP* æqualis, angulumque *VCp* angulo *VCP* proportionalem conſtituat; & (b) area, quam linea *Cp* deſcribit, erit ad aream *VCP*, quam linea *CP* ſimul deſcribit; ut velocitas lineæ deſcribentis *CP* ad velocitatem lineæ deſcribentis *CP*; hoc eſt, ut angulus *VCp* ad angulum *VCP*, ideoque in datâ ratione, & prop-



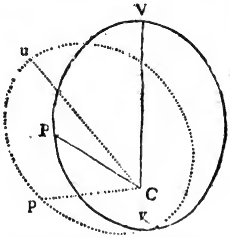
(a) * *Efficiendum eſt.* Sit V P K quælibet immota trajectoria quam corpus P ad centrum virium C tendens deſcribat pergendo ab V versùs K, invenienda eſt lex vis centripetæ ad C tendentis, quâ urgente corpus aliud p feratur in perimetro figuræ u p, priori ſimilis & æqualis, intereadum hæc ipſa figura u p, circà C revolvitur in uno eodemque plano, ità ut dum corpus P, arcum quemlibet ut V P, percurrit in orbe quieſcente V P, aliud corpus p, ſimilem & æqualem arcum u p, percurrat in orbe revolvente u p.

443. Si fuerit C V ad trajectoriam VPK in puncto V perpendicularis, hoc eſt, ſi ſit C V linea apſidum in orbe quieſcente, & correſpondens C u linea apſidum in orbe revolvente, motus angularis lineæ C u dicitur apſidum motus, qui in conſequentia ſit, ubi linea C u, in eandem partem fertur cum corpore P, vel p. In antecedentia verò ubi linea C u, & corpus P, vel p, in plagas contrarias tendunt.

(b) * *Et area quam linea C p, deſcribit.* Sit V p u curva quam corpus p in orbe mobili u p revolvens deſcribit, centro C, intervallo C P, vel C p, deſcribatur circuli arcus P p q, agatur radius C R orbem quieſcentem V P K ſecans in K, & radius C q, trajectoriam V p n, ſecans in n, ſintque K, n, loca in quibus eodem tempore reperiuntur corpora P, p, id eſt, arcus P K, p n, ſint eodem tempore deſcripti. Naſcentibus arcubus P R, p q, ſectores P C K, p C n, æquales ſunt factis

$\frac{1}{2}$ P C

propterea tempori proportionalis. Cùm area tempori proportionalis ſit quam linea Cp in plano immobili deſcribit, manifeſtum eſt quod corpus, cogente juſtæ quantitatis vi centripetâ revolvi poſſit unà cum puncto p in curvâ illâ lineâ quam punctum idem p ratione jam expoſitâ deſcribit in plano immobili. Fiat angulus VCu angulo PCp, & linea Cu lineæ CV, atque figura uCp figuræ VCP æqualis, & corpus in p ſemper exiſtens movebitur in perimetro figuræ revolventis uCp, eodemque tempore deſcribet arcum ejus up quo corpus aliud P arcum ipſi ſimilem & æqualem VP in figurâ quieſcente VPK deſcribere poteſt. Quæratur igitur, per corollarium quintum propoſitionis VI., vis centripeta quâ corpus revolvi poſſit in curvâ illâ lineâ quam punctum p deſcribit in plano immobili, & ſolvetur problema. *Q. E. F.*



PRO-

$\frac{1}{2}$ P C × P R, $\frac{1}{2}$ pC×pq; adeóque ob p C=P C ſectores illi ſunt inter ſe ut arcus P R, p q, ſeu ut anguli P C K, p C n; ſed quoniam angulus V C K, eſt ad angulum V C n, in datâ ratione anguli V C P, ad angulum V C p (*per hyp.*) erit dividendo angulus V C K—V C P, ad angulum V C n=V C p, hoc eſt, angulus P C K, ad angulum p C n, in datâ ratione anguli V C P, ad V C p, atque adeò ſector P C K, ad ſectorem p C n, in eâdem ratione datâ. Undè (*per cor. Lem.* 4.) totus ſector V p C, eſt ad totum ſectorem V P C, eodem tempore deſcriptum in datâ ratione, ſive ſector V p C, eſt ut ſector V P C, proindéque (*per prop.* 1.) ut tempus quo ſector uterque deſcribitur. Quarè manifeſtum eſt (*per prop.* 2.) quod corpus p, cogente juſtæ quantitatis vi centripetâ revolvi poſſit in curvâ lineâ V p n, quam punctum p perpetuò tangit. Porrò dato orbe V P K, & virium centro C, datur longitudo & poſitio lineæ C P, (per ſuperiorem *Newt. conſtr.*) adeoque & lineæ C p, & hinc datur punctum quodlibet p, in trajectoriâ V p n, adeóque & ipſa trajectoria datur. Inveniri igitur poteſt (*per cor.* 5. *prop.* 6.) Lex vis centripetæ quâ corpus p, in trajectoriâ illâ V p n revolvi poteſt.

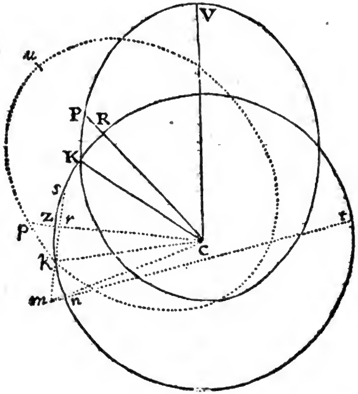
Quoniam autem angulus V C P æqualis eſt angulo v C p (*per conſtr.*) erit quoque angulus V C v æqualis angulo P C p, adeóque datâ C p, magnitudine & poſitione, facile invenitur poſitio lineæ apſidum C v in orbe mobili V p: Fiat enim angulus V C v angulo P C p, & linea C v lineæ C V, atque figura u C p, figuræ V C P ſimilis & æqualis, & corpus unà cum puncto p, ſemper latum & figuram immotam V p n deſcribens, deſcribit etiam perimetrum u p, figuræ revolventis u C p, eodemque tempore deſcribit arcum ejus v p, quo corpus aliud P arcum ipſi ſimilem & æqualem V P, in figurâ quieſcente V P K, deſcribere poteſt. Vide *Varignonium* Legem vis centripetæ in trajectoria V p n determinantem, in Comm. Pariſ. 1705.

Digitized by Google

PROPOSITIO XLIV. THEOREMA XIV.

Differentia virium, quibus corpus in orbe quieſcente, & corpus aliud in eodem orbe revolvente æqualiter moveri poſſunt, eſt in triplicatâ ratione communis altitudinis inverſè.

Partibus orbis quieſcentis *VP*, *PK* ſunto ſimiles & æquales orbis revolventis partes *up*, *pk*; & punctorum *P*, *K* diſtantia intelligatur eſſe quam minima. A puncto *k* in rectam *pC* demitte perpendiculum *kr*, idemque produc ad *m*, ut ſit *mr* ad



kr ut angulus *VCp* ad angulum *VCP*. Quoniam corporum altitudines *PC* & *pC*, *KC* & *kC*, ſemper æquantur, manifeſtum eſt quod linearum *PC* & *pC* incrementa vel decrementa ſemper ſint æqualia, ideoque ſi corporum in locis *P* & *p* exiſtentium diſtinguantur motus ſinguli (*per legum corol.* 2.) in binos,

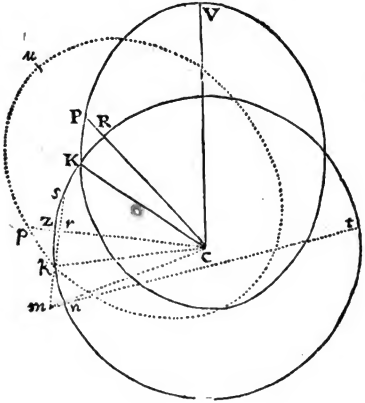
nos, quorum hi verſus centrum, ſive ſecundum lineas PC, pC determinentur, & alteri prioribus tranſverſi ſint, & ſecundum lineas ipſis PC, pC perpendiculares directionem habeant; motus verſus centrum erunt æquales, & motus tranſverſus corporis p erit ad motum tranſverſum corporis P, ut motus angularis lineæ pC ad motum angularem lineæ PC, id eſt, ut angulus VCp ad angulum VCP. Igitur eodem tempore quo corpus P motu ſuo utroque pervenit ad punctum K, corpus p æquali in centrum motu æqualiter movebitur à p verſus C, ideoque completo illo tempore reperietur alicubi in lineâ mkr, quæ per punctum k in lineam pC perpendicularis eſt; & motu tranſverſo acquiret diſtantiam à lineâ pC, quæ ſit ad diſtantiam quam corpus alterum P acquirit à lineâ PC, ut eſt motus tranſverſus corporis p ad motum tranſverſum corporis alterius P. Quare cum kr æqualis ſit diſtantiæ quam corpus P acquirit à lineâ PC, ſitque mr ad kr ut angulus VCp ad angulum VCP, hoc eſt, ut motus tranſverſus corporis p ad motum tranſverſum corporis P, (c) manifeſtum eſt quod corpus p completo illo tempore reperietur in loco m. Hæc ita ſe habebunt ubi corpora p & P æqualiter ſecundum lineas pC & PC moventur, ideoque æqualibus viribus ſecundum lineas illas urgentur. Capiatur autem angulus pCn ad angulum pCk ut eſt angulus VCp ad angulum VCP, ſitque nC æqualis kC, & corpus p completo

(c) * *Manifeſtum eſt quòd corpus p* &c. Ex puncto K in rectam P C, demiſſum intelligatur perpendiculum K R, & erit P R = p r. Fingamus corpus P de loco P ità projici ut vi ſecundum directionem P C, urgente percurrat ſpatium P R, eodem tempore quo vi alterâ ſecundum rectam ipſi R K, parallelam impellente, percurrit ſpatium æquale rectæ R K, adeò ut eo tempore viribus conjunctis deſcribat diagonalem P K. Fingamus ſimiliter corpus p, de loco p ità projici, ut vi ſecundùm directionem p C urgente percurrat p r = P R, eodem tempore quo corpus P percurrit P R aut R K vel P K, & vi alterâ ſecundum directionem rectæ r m, parallelam impellente, corpus p, eodem tempore deſcribat ſpatium æquale rectæ r m, quæ eſt ad R K, in ratione velocitatis tranſverſæ corporis p, ad velocitatem tranſverſam corporis alterius P. His poſitis manifeſtum eſt corpora P & p, de locis P, & p, ſimul egreſſa, eodem temporis puncto reperiri in locis K, & m.

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XLIV. Theor. XIV.

pleto illo tempore (d) reverâ reperietur in *n*; (e) ideoque vi majore urgetur quam corpus *P*, ſi modò angulus *n C p* angulo *k C p* major eſt, id eſt ſi orbis *v p k* vel movetur in con-



ſequentia, vel movetur in antecedentia majore celeritate quam ſit dupla ejus quâ linea *C P* in conſequentia fertur; & vi minore ſi orbis tardius movetur in antecedentia. Eſtque virium diffe-

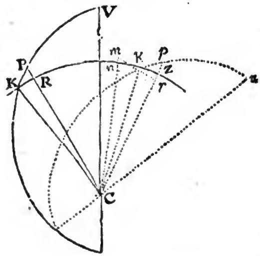
(d) * *Reverâ reperitur in puncto n.* Eſt enim angulus p C k = P C K (*per hyp.*) & ſi fuerit in locus corporis p, erit (*per prop.* 43.) angulus p C n, ad angulum P C k, ut angulus V C p, ad angulum V C P, & puncta C, n, m, jacent in unâ rectâ. Naſcentibus enim angulis p C n, P C K, perpendicula r m, R K, ſunt ut arcus circulares naſcentes radiis æqualibus C R, C r deſcripti, ſeu ut anguli m C r, K C R, (*per Lem.* 7.) Eſt ergò angulus m C p, ad angulum K C P, ſeu k C p, ut m r, ad K R, ſeu k r, hoc eſt, ut angulus V C p, ad angulum V C P, ſive, ut angulus p C n, ad angulum k C p, (*per conſtr.*) quarè angulus m C p = p C n, & hinc puncta C, n, m, jacent in unâ rectâ.

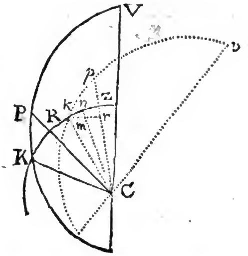
(e) 444. *Ideoque vi majore urgetur quam corpus P, ſi modò angulus* n C p, *angulo* k C p *major; vi minore*, ſi angulus m C p, angulo k C p minor; & vi æquali, ſi angulus m C p, angulo k C p æqualis. Nam in 1°. caſu linea C m, major eſt quam C n, & punctum m extrà peripheriam

differentia ut locorum intervallum $m\,n$, per quod corpus illud p ipſius actione, dato illo temporis ſpatio, transferri debet. Centro C intervallo $C\,n$ vel $C\,k$ deſcribi intelligatur circulus ſecans lineas mr, $m\,n$ productas in s & t, & (f) erit rectangulum $m\,n \times m\,t$ æquale rectangulo $m\,k \times m\,s$, ideoque $m\,n$ æquale $\frac{m\,k \times m\,s}{m\,t}$. (g) Cùm autem triangula $p\,C\,k$, $p\,C\,n$ dato tempore den-

riam circuli radio C k, vel C n, deſcripti cadit, adeóque præter vim quâ corpus utrumque ad centrum urgetur, requiritur vis altera quâ corpus p, adhuc deſcribat m n. In 2°. caſu C m, minor eſt quam C n, puncto m, cadente inter puncta k, & r, in lineâ k r. In 3°. caſu C m = C n, coincidentibus punctis m, n, k.

gulus V C p = V C P; cumque ſit etiam C p = C P, corpus p deſcribet orbem immotum V p, ſimilem & æqualem orbi V P K. In hoc caſu corpus p, non fertur ab V, versùs P, ſed in partem oppoſitam ut patet.





445. Porrò angulus m C p, angulo k C p, ſeu K C P major eſt, ſi orbis v p k, vel movetur in conſequentia (ut patet) vel movetur in antecedentia majore celeritate quàm ſit dupla ejus quâ linea C P in conſequentia fertur. Nam in hoc caſu angulus v C V, eſt plusquam duplo major angulo V C p, ſeu u C p, adeòque angulus V C p, major angulo VCP, ſeu v C p, & hinc angulus p C m, major angu'o p C k, cum ſit angulus p C m, ad angulum p C k, ut V C p, ad V C P.

446. Si orbis u p k, movetur in antecedentia cum celeritate duplâ ejus quâ linea C P, in conſequentia fertur, erit an-

447. Si orbis v p k movetur in antecedentia minori celeritate quam ſit dupla ejus quâ linea C P in conſequentia fertur, erit angulus m C p, angulo k C p minor. In hoc enim caſu angulus V C v minor eſt duplo angulo V C P, vel v C p, adeóque angulus V C p, minor angulo V C P, vel v C p, & hinc angulus m C p, minor angulo k C p (*per conſtr.*)

(f) * *Erit rectangulum m n × m t = rectangulo m k × m s.* Per prop. 35. vel 36. lib. 3. Elem.

(g) *Cùm autem triangula p C k, ſive P C K, & p C n, dato tempore deſcribantur* (per hyp.) *dantur magnitudine* (per prop. 1.) Porrò triangulum P C K = ½ P C × K R, &

PROP. XLIV. THEOR. XIV.

dentur magnitudine, ſunt $k\,r$ & $m\,r$, earumque differentia $m\,k$ & ſumma $m\,s$ reciprocè ut altitudo $p\,C$, ideoque rectangulum $m\,k \times m\,s$ eſt reciprocè ut quadratum altitudinis $p\,C$. Eſt & $m\,t$ directè ut $\frac{1}{2}\,m\,t$, id eſt, ut altitudo $p\,C$. Hæ ſunt primæ rationes linearum naſcentium; & hinc fit $\frac{m\,k \times m\,s}{m\,t}$, id eſt lineola naſcens $m\,n$, eique proportionalis virium differentia reciprocè ut cubus altitudinis $p\,C$. *Q. E. D.*

Corol. 1. Hinc differentia virium in locis P & p, vel K & k, eſt ad vim quâ corpus motu circulari revolvi poſſit ab R ad K eodem tempore quo corpus P in orbe immobili deſcribit arcum $P\,K$, ut lineola naſcens $m\,n$ ad (h) ſinum verſum arcus naſcentis $R\,K$, id eſt ut $\frac{m\,k \times m\,s}{m\,t}$ ad $\frac{r\,k\,q}{2\,k\,C}$, vel ut $m\,k \times m\,s$ ad $r\,k$ quadratum; hoc eſt, ſi capiantur datæ quantitates F, G in

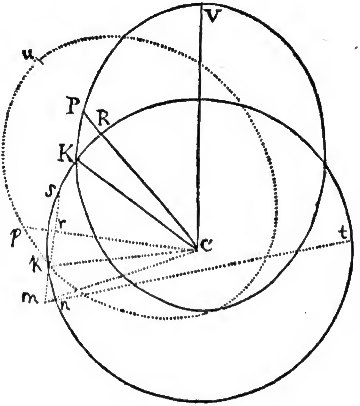
triangulum $p\,C\,n = \frac{1}{2}\,p\,C \times m\,r$. Junctis enim $p\,n$, $p\,m$, erit triangulum naſcens $p\,n\,C$ æquale naſcenti $p\,m\,C$, ob $m\,n$ evaneſcentem reſpectu lineæ finitæ $C\,n$, & triangulum $p\,m\,C = \frac{1}{2}\,p\,C \times m\,r$. Sunt ergò facta $p\,C \times k\,r$, & $p\,C \times m\,r$, conſtantia ſeu data & hinc $k\,r$, & $m\,r$, ſunt reciprocè ut altitudo $p\,C$, & proptereà dividendo & componendo, earum differentia; $m\,k$, & ſumma $m\,s$, ſunt reciprocè ut eadem altitudo $p\,C$. Quod ut clariùs intelligatur, ſupponamus eſſe $k\,r = \frac{F}{p\,C}$, $m\,r = \frac{G}{p\,C}$, & F & G eſſe quantitates datas, erit $m\,r - k\,r = m\,k = \frac{G-F}{p\,C}$, $m\,r + k\,r = m\,s = \frac{G+F}{p\,C}$, hoc eſt, ob quantitates F, G, G—F, G+F, datas, erunt $k\,r$, $m\,r$, $m\,k$, $m\,s$, ut $\frac{1}{p\,C}$. Hinc rectangulum $m\,k \times m\,s$, $= \frac{GG-FF}{p\,C^2}$, eſt reciprocè ut quadratum altitudinis $P\,C$; Eſt & $m\,t$, directè ut $\frac{1}{2}\,m\,t = C\,n = C\,k = p\,C$, quarè $m\,n = \frac{m\,k \times m\,s}{m\,t} = \frac{GG-FF}{2\,p\,C^3}$, & ideò $m\,n$ eſt reciprocè ut cubus altitudinis $p\,C$ ob datam quantitatem $\frac{GG-FF}{2}$.

(h) * *Ad ſinum verſum arcûs naſcentis R k*, ſeu $Z\,k$, hoc eſt, ad $Z\,r$, nam $Z\,r$ & $m\,n$, ſunt ſpatia naſcentia eodem tempuſculo viribus illis deſcripta, & iiſdem proindè viribus proportionalia. Eſt autem $m\,n = \frac{m\,k \times m\,s}{m\,t}$ (*ex Dem.*) & $Z\,r = \frac{k\,r^2}{2\,k\,C}$. Nam, ex naturâ circuli $Z\,r : k\,r = k\,r : K\,C + r\,C$, hoc eſt, quia $r\,C$ uſurpari poteſt pro $Z\,C$, & quia $Z\,C = k\,C$, $Z\,r : k\,r = k\,r : 2\,k\,C$, & $Z\,r = \frac{k\,r^2}{2\,k\,C}$; undè $m\,n : Z\,r = m\,k \times m\,s : k\,r^2$, ob $m\,t = 2\,k\,C$. Si verò capiantur duæ quantitates G, F, in eâ ratione ad invicem quam habet angulus $V\,C\,p$, ad angulum $V\,C\,P$, ſeu quam habet $m\,r$, ad $k\,r$, erit $m\,k \times m\,s : k\,r^2 = GG - FF : FF$; ut ex ſuprà demonſtratis liquet, ergò $m\,n : Z\,r = GG - FF : FF$.

Digitized by Google

in eâ ratione ad invicem quam habet angulus *VCP* ad angulum *VCp*, ut GG — FF ad FF. Et (i) propterea, ſi centro *C* intervallo quovis *CP* vel *Cp* deſcribatur ſector circularis æqualis areæ toti *VPC*, quam corpus *P* tempore quovis in

PROP. XLIV. THEOR. XIV.



orbe immobili revolvens radio ad centrum ducto deſcripſit: differentia virium, quibus corpus *P* in orbe immobili & corpus *p* in orbe mobili revolvuntur, erit ad vim centripetam, quâ corpus aliquod, radio ad centrum ducto, ſectorem illum eodem tempore, quo deſcripta ſit area *VPC* uniformiter deſcribere po-

(i) * *Et propterea ſi centro* C. Corpus P, in orbitâ VPK revolvens dato tempore datum ſectorem PCK, radio ad centrum C ducto deſcribit (*per prop.* 1.) & corpus in circulo radio CK deſcripto uniformiter revolvens, & arcum RK, ſeu ſectorem CRK = CPK, deſcribens eodem tempore quo corpus P deſcribit arcum PK, ſeu ſectorem CPK, dato tempore datum quoque ſectorem deſcribit. Quarè corpus P, in orbitâ VPK, & corpus in circulo prædicto revolventia, radiis ad centrum C ductis, ſectores æquales temporibus æqualibus deſcribunt. *Et propterea ſi centro* C, *intervallo* C*P*, *vel* C*p*, *deſcribatur &c.*

Digitized by Google

potuiſſet, ut GG−FF ad FF. Namque ſector ille & area *p C k* ſunt ad invicem ut tempora quibus deſcribuntur.

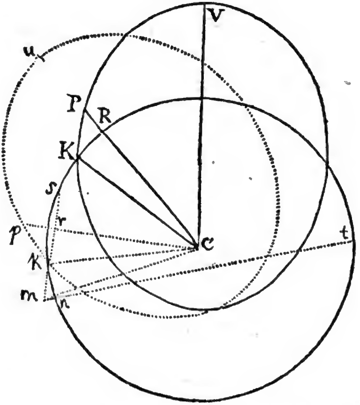
Corol. 2. Si orbis *V P K* ellipſis ſit umbilicum habens *C* & apſidem ſummam *V*; eique ſimilis & æqualis ponatur ellipſis *u p k*, ita ut ſit ſemper *p C* æqualis *P C* & angulus *V C p* ſit ad angulum *V C P* in datâ ratione G ad F; pro altitudine autem *P C* vel *p C* ſcribatur A, & pro ellipſeos latere recto ponatur 2 R: erit vis, quâ corpus in ellipſi mobili revolvi poteſt, ut $\frac{FF}{AA} + \frac{RGG - RFF}{A\ cub.}$ & contra. Exponatur enim vis quâ corpus revolvatur in immotâ ellipſi per quantitatem $\frac{FF}{AA}$, & vis in *V* erit $\frac{FF}{CV\ quad.}$ (k) Vis autem quâ corpus in circulo ad diſtantiam *CV* eâ cum velocitate revolvi poſſet quam corpus in ellipſi revolvens habet in *V*, eſt ad vim quâ corpus in ellipſi revolvens urgetur in apſide *V*, ut dimidium lateris recti ellipſeos ad circuli ſemidiametrum *CV*, ideoque valet $\frac{RFF}{CV\ cub.}$: & vis, quæ ſit ad hanc ut GG−FF ad FF, valet

RGG

(k) * *Vis autem quâ corpus in circulo &c.* Demonſtratio *Newtoniana* ita procedit: Vis quâ corpus in Ellipſi circa ejus focum revolvitur, eſt ſemper æqualis cuidam quantitati conſtanti diviſæ per quadratum diſtantiæ à foco (*per prop. X I.*) Sumatur ergo pro illâ quantitate conſtanti, quadratum *F F* cujus latus F eſt prima ex illis indeterminatis (ſed conſtantibus) quæ exprimuut rationem anguli V C P ad angulum V C p, erit vis in V $= \frac{FF}{VC^2}$. Sit Corpus circà centrum quodvis in circulo revolvens, ad diſtantiam C V, eâdem velocitate quâ Corpus in ellipſi revolvens urgetur in apſide V, ſumantur in Circulo & in Ellipſi arcus quamminimi eodem tempore deſcripti, illi arcus erunt inter ſe æquales, ob æquales velocitates (*ex Hypoth.*) & eorum ſagittæ erunt inter ſe ut vires Centrales (*per Corol.* 4. *Prop. I.*): in ellipſibus autem omnibus in quibus vis centripeta ad focum tendit (& iis annumeratur Circulus) latera recta ſunt inversè ut arcuum quamminimo tempore deſcriptorum ſagittæ & directè ut quadrata perpendiculi ducti ab extremitate eorum arcuum in lineam ad Centrum virium tendentem (*per Corol.* 2. *Prop.* XIII.) ſed in apſide Ellipſeos & Circulo, illa perpendicula ſunt ipſi arcûs, ideoque ſunt æqualia; Ergo latera recta hujus Ellipſis & hujus Circuli erunt inversè ut ſagittæ arcuum ſive inversè ut vires Centrales; Latus rectum circuli eſt ipſa diameter, ergo ſumendo dimidium utriuſque Lateris recti eſt *vis quâ Corpus in Ellipſi revolvens urgetur* &c. Reliqua demonſtratio eſt plana.

Digitized by Google

$\frac{RGG - RFF}{CV\ cub.}$: eſtque hæc vis (*per hujus corol.* 1.) differentia virium in *V* quibus corpus *P* in ellipſi immotâ *VPK*, & corpus *p* in ellipſi mobili *upk* revolvuntur. Unde cùm (*per hanc prop.*) differentia illa in aliâ quâvis altitudine A ſit ad ſeipſam in altitudine *CV* ut $\frac{1}{A\ cub.}$ ad $\frac{1}{CV\ cub.}$, eadem diffe-



rentia in omni altitudine A valebit $\frac{RGG - RFF}{A\ cub.}$. Igitur ad vim $\frac{FF}{AA}$, quâ corpus revolvi poteſt in ellipſi immobili *VPK*, addatur exceſſus $\frac{RGG - RFF}{A\ cub.}$; & componetur vis tota $\frac{FF}{AA} + \frac{RGG - RFF}{A\ cub.}$ quâ corpus ellipſi mobili *upk* iiſdem temporibus revolvi poſſit.

Co-

Corol. 3. (1) Ad eundem modum colligetur quòd, ſi orbis immobilis VPK ellipſis ſit centrum habens in virium centro C; eique ſimilis, æqualis & concentrica ponatur ellipſis mobilis upk; ſitque 2 R ellipſeos hujus latus rectum principale, & 2 T latus tranſverſum ſive axis major, atque angulus VCp ſemper ſit ad angulum VCP ut G ad F; vires, quibus corpora in ellipſi immobili & mobili temporibus æqualibus revolvi poſſunt, erunt ut $\frac{FFA}{T\,cub.}$ & $\frac{FFA}{T\,cub.} + \frac{RGG - RFF}{A\,cub.}$ reſpectivè.

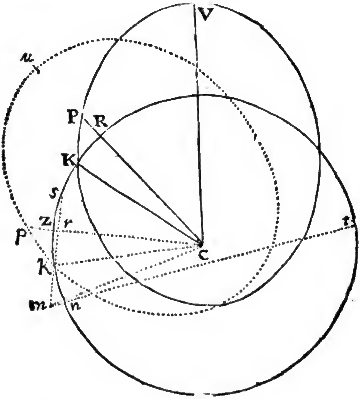
Corol. 4. Et univerſaliter, ſi corporis altitudo maxima CV nominetur T, & radius curvaturæ quam orbis VPK habet in

(1) *Ad eundem modum* &c. Si Corpus revolvatur in Ellipſi vi centripetâ tendente ad centrum Ellipſeos, vis centralis eſt directè ut diſtantia à Centro, ideoque erit æqualis quantitati conſtanti multiplicatæ per diſtantiam (*per prop.* X.), poſito 2 T pro axe tranſverſo & 2 R pro latere recto, ſit ea quantitas conſtans $\frac{FF}{T^3}$, vis in V erit $\frac{FF \times CV}{T^3}$ vel quoniam CV $= T$, erit $\frac{FF}{TT}$ in aliis verò omnibus punctis erit $\frac{FF \times A}{T^3}$.

Sit Corpus in circulo revolvens circa centrum C ad diſtantiam C V, quâlibet vi centripetâ, ſed tali ut eâdem velocitate feratur quâ corpus in Ellipſi latum urgetur in extremitate axis tranſverſi, ſumantur in eo Circulo & in extremitate axis tranſverſi Ellipſeos arcus quamminimi eodem tempore deſcripti illi arcus erunt æquales, ob æquales velocitates, & eorum ſagittæ erunt ut vires Centrales quibus corpora in circulo & Ellipſi retinentur (*per Cor.* 4. *Prop.* 1.); in Ellipſibus autem diverſis (& iis annumeratur Circulus) in quibus vis centripeta ad centrum tendit, in diſtantiis æqualibus à Centro, dupla quadrata facti axium ſunt inverſè ut ſagittæ quàm minimo tempore deſcriptæ, & directè ut quadrata arearum dato tempore deſcriptarum (*per conſtr. Prop.* X.), cùm ergo hic ſumantur arcus æquales & perpendiculares in lineam ad centrum ductam, & diſtantiæ à centro ſint æquales, illæ areæ utrinque ſunt æquales, ergo ſagittæ arcuum in Ellipſi & in circulo ſunt inverſè ut ipſa quadrata facti axium, ſeu quia axis tranſverſus Ellipſeos & circuli diameter idem ſunt, ſagittæ arcuum in Ellipſi & circulo ſunt inverſè ut quadratum axis conjugati ad quadratum tranſverſi, ſivè inverſè ut Latus rectum ad Axem tranſverſum ergo 2 T : 2 R (ſive $T : R$) $= \frac{FF}{TT}$ ad vim in Circulo quæ itaque erit $\frac{R \times FF}{T^3}$ ſed hæc vis eſt ad differentiam virium in orbe mobili & immobili, ut FF ad $GG - FF$, ergo illa differentia eſt $\frac{RGG - RFF}{T^3}$, hæc autem differentia in V, eſt ad differentiam in alio quovis loco inverſè ut cubi altitudinum ergo $A^3 : CV^3$ (ſive T^3) $= \frac{RGG - RFF}{T^3} : \frac{RGG - RFF}{A^3}$, cum ergo Vis in Orbe immobili ſit ut $\frac{FFA}{T^3}$ in orbe mobili erit $\frac{FFA}{T^3} + \frac{RGG - RFF}{A^3}$. Q. E. D.

Digitized by Google

in V, id eſt radius circuli æqualiter curvi, nominetur R, & vis centripeta, quâ corpus in trajectoriâ quâcunque immobili VPK revolvi poteſt in loco V dicatur $\frac{VFF}{TT}$, atque aliis in locis P



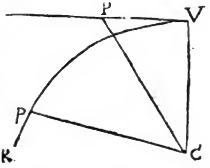
indefinitè dicatur X, altitudine CP nominatâ A, & capiatur G ad F in datâ ratione anguli VCp ad angulum VCP: erit (m) vis centripeta, quâ corpus idem eoſdem motus in eâdem trajectoriâ upk circulariter motâ temporibus iiſdem peragere poteſt, ut ſumma virium $X + \frac{VRGG - VRFF}{A\ cub.}$.

Corol. 5. Dato igitur motu corporis in orbe quocunque immobili, augeri vel minui poteſt ejus motus angularis circa centrum virium in ratione datâ, & inde inveniri novi orbes immobiles in quibus corpora novis viribus centripetis gyrentur.

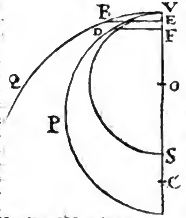
(m) * *Erit vis centripeta,* ut hæc commodè demonſtrentur adhibendum Lemma ſequens.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XLIV. THEOR. XIV.

Corol. 6. Igitur ſi ad rectam *CV* poſitione datam erigatur perpendiculum *VP* longitutinis indeterminatæ, jungaturque *CP*, & ipſi æqualis agatur *Cp*, conſtituens angulum *VCp*, qui ſit ad angulum *VCP* in datâ ratione; vis quâ corpus gyrari poteſt in curva illa *Vpk* quam punctum *p* perpetuò tangit, erit reciprocè ut cu-



448. *Lemma.* Si corpus ad centrum virium C tendens deſcribat trajectoriam immotam V P, vis centripeta quâ in apſide V urgetur eſt ad vim centripetam corporis alterius in circulo VBQ, ad eandem diſtantiam CV, eâdem cum velocitate revolventis, ut diſtantia C V ad V O radium circuli V D S, trajectoriam V P oſculantis in V. Capiantur in circulo V B Q & in trajectoriâ V P arcus quam minimi & æquales V B, V D, & ex punctis B & D ad rectam C V demiſſa intelligantur perpendicula B E, D F; arcus evaneſcentes V B, V D eodem tempore à corporibus duobus percurrentur, ob utriuſque corporis velocitatem æqualem, eruntque perpendicula B E, D F æqualia (*per Lem.* VII. Quoniam autem arcus evaneſcens V D uſurpari poteſt pro arcu circuli curvam V P oſculantis in V, erit ex naturâ circuli V F : D F = D F : V O + F O, ſeu 2 V O, adeoque $DF^2 = 2\,VO \times VF$, & ſimiliter $BE^2 = 2\,VC \times VE = 2\,VO \times VF$; undè V F : V E = V C : V O; ſed vis centripeta corporis arcum V D deſcribentis, eſt ad vim centripetam alterius corporis arcum V B deſcribentis ut V F ad V E, quæ ſunt ſpatia viribus illis urgentibus eodem tempuſculo deſcripta, quarè vis centripeta quâ corpus in apſide V urgetur, eſt ad vim centripetam alterius corporis in circulo ad eandem diſtantiam eâdem cum velocitate revolventis, ut diſtantia illa C V ad radium V O circuli oſculatoris in V. Q. E. D.

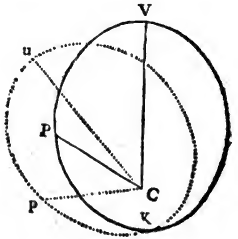


449. *Cor.* 1. Si radius V O circuli trajectoriam V P oſculantis in apſide V dicatur *R*, diſtantia C V, *T*, diſtantia C P, *A*, vis centripeta in V, $\frac{VFF}{TT}$, hæc erit ad vim centripetam in circulo V Q, ad eandem diſtantiam C V eâdem cum velocitate deſcripto ut *T* ad *R*, (448) hæc ergo erit $\frac{VRFF}{T^3}$, quæ erit ad differentiam virium centripetarum in apſidibus V & u, orbis immobilis V P, & orbis mobilis u p, ut F F ad G G − F F (*per Cor.* I. *Newt.*) ideoque differentia illa erit $\frac{VRGG - VRFF}{T^3}$ quæ erit ad differentiam in aliis locis P ut A^3 ad T^3, ideoque in quibuſvis locis erit differentia virium in orbe mobili & immobili $\frac{VRGG - VRFF}{A^3}$. Quod aliâ ratione demonſtravit *Hermannus* prop. 25. Lib. I. *Phoronomiæ*.

450. *Coroll.* 2. Hinc ſi vis centripeta in quovis puncto P, orbitæ immobilis V P, dicatur *X*, vis in puncto æque alto p, orbitæ mobilis u p erit $= X + \frac{VRGG - VRFF}{A^3}$ Q. E. D.

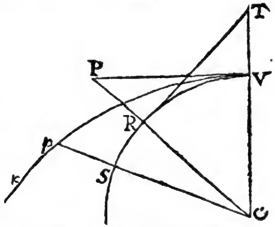
451. *Corol.* 3. Si orbitæ V P & u p ſint ellipſes quarum umbilicus communis C, erit (240.) radius oſculi *R* æqualis dimidio lateri recto ellipſeos V P, vel u p: & (*per prop.*

bus altitudinis Cp. Nam (n) corpus P per vim inertiæ, nullâ aliâ vi urgente, uniformiter progredi poteſt in rectâ VP. Adjdatur vis in centrum C, cubo altitudinis CP vel Cp, reciprocè proportionalis, & (per jam demonſtrata) detorquebitur motus ille rectilineus in lineam curvam Vpk. Eſt (o) autem hæc curva Vpk eadem cum curvâ illâ VPQ in *corol.* 3. *prop.* XLI. inventâ, in quâ ibi diximus corpora hujuſmodi viribus attracta obliquè aſcendere.



prop. XI.) $X \; \frac{VFF}{TT} = T : AA$, adeoque $X = \frac{VFF}{AA}$, Ergo (450) vis in Orbitâ mobili erit $\frac{VFF}{AA} + \frac{VRGG - VRFF}{A^3}$, & diviſis omnibus terminis per V ut $\frac{FF}{AA} + \frac{RGG - RFF}{A^3}$; & ſi vis centralis ad centrum Ellipſeos dirigatur erit $X : \frac{VFF}{TT} = A : T$ & $X = \frac{VFF \times A}{T^3}$ & vis in Orbita mobili erit $\frac{VFF \times A}{A^3} + \frac{VRGG - VRFF}{A^3}$ & diviſis terminis per V erit $\frac{FF \times A}{T^3} + \frac{RGG - RFF}{A^3}$; ſicut in *Cor.* 3. & 4. *Newt.* inventum fuerat.

(n)* *Nam corpus P.* Linea V P conſiderari poteſt tanquam trajectoria immota, in quâ vis centripeta X in loco quovis P nulla eſt, & radius oſculi R infinitus; erit igitur in hoc caſu (*per cor.* 4.) vis centripeta in loco p, trajectoriæ mobilis, æqualis $\frac{VRGG - VRFF}{A^3}$, adeóque ob datam quantitatem $VRGG - VRFF$, erit X, ſeu vis in p, ut $\frac{1}{A^3}$.



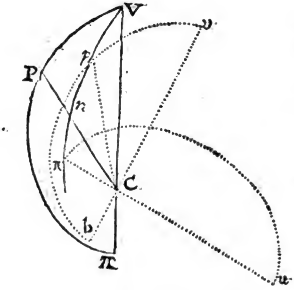
(o)* *Eſt autem hæc curva Vpk eadem &c.* Nam ſi centro C intervallo C V deſcribatur circulus V R S quem recta CP ſecat in R, recta C p, in S, ſitque angulus S C V ad angulum R C V in datâ ratione, erit quoque ſector S V C ad ſectorem R V C in datâ illâ ratione, & ductâ per punctum R tangente R T, quæ radio C V producto occurrat in T, ejuſdem anguli R C V ſecantes C P, C T erunt æquales, atque adeò curva V p k, eadem cum curvâ VPQ, in *coroll.* 3°. *prop.* 41. inventâ, in quâ *recta Cp eſt ſemper æqualis abſciſſæ C T, & angulus V C p eſt ſemper ſectori V C R proportionalis.*

Digitized by Google

PROPOSITIO XLV. PROBLEMA XXXI.

(p) *Orbium qui ſunt circulis maxime finitimi requiruntur motus apſidum.*

(q) Problema ſolvitur arithmeticè faciendo ut orbis, quem corpus in ellipſi mobili (ut in propoſitionis ſuperioris corol. 2. vel 3.) revolvens deſcribit in plano immobili, accedat ad formam orbis cujus apſides requiruntur, & quærendo apſides orbis



(p) * *Orbium qui ſunt &c.* Iiſdem poſitis quæ in propoſitione 44 & ejus corollariis 1. & 2. ſit V p n π orbis quem corpus p in ellipſi mobili u p b revolvens deſcribit in plano immobili, & V Π, v b, ellipſeon immobilis & mobilis axes tranſverſi, manifeſtum eſt, punctum V eſſe apſidem ſummam tam in ellipſi immotâ V P Π, quàm in orbe V p n π, & eſſe π apſidem imam in orbe V p n π ſi fuerit C π = C b = C Π, in quâ hypotheſi corpus p pervenit ad locum π, ubi corpus P, in ellipſi immotâ pervenit ad apſidem imam Π & in ellipſi revolvente corpus p pervenit ad b, ac in orbe V p n π, puncta p, b, π, coincidunt. Jam verò datâ vi centripetâ in orbe V p n π, quæritur motus apſidum, hoc eſt, motus axi u c b, ſeu quod idem eſt, quæritur ratio F, ad G, vel anguli V C P ad anguium V C p, aut anguli V C Π, 180°. ad angulum V C π; quod ſi ellipſis V P Π, ſit circulo maximè finitima, orbis V p n π ad circuli formam quam proximè accedet, nam ſi ellipſis V P Π, in circulum perfectum mutetur, orbis V p n π fit quoque circulus.

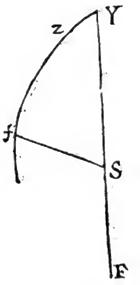
(q) * *Problema ſolvitur arithmeticè.* Revolvatur corpus Y in orbe immoto Y Z f vi centripetâ datâ tendente ad centrum S, ſitque punctum Y apſis ſumma, f apſis ima in illo orbe. Umbilico S, & axe tranſverſo Y S F = Y S + S f, deſcriptæ intelligantur ellipſes immobilis & mobilis, efficiendum eſt ut corpus Y orbem Y Z f deſcribens, ſimul revolvatur in hâc ellipſi mobili, dum corpus aliud ellipſim immotam deſcribit eâ ratione quam expoſuimus prop. 43. & inveniendus eſt apſidum motus. Id autem abſolvitur faciendo ut orbis V p n π (*fig. ſuperiori*) qui omnes orbes ut Y Z f quæcumque ſit in illis vis centripetæ lex generaliter exhibet accedat ad formam orbis Y Z f, ſive ei ſimilis & æqualis fiat, ac quærendo apſides V π, vel rationem angulorum V C P, V C p, in orbe illo V p n π. Porrò ſi ſupponamus orbem V p n π, ſimilem & æqualem factum eſſe orbi Y Z f, erit vis centripeta in ellipſi immotâ cujus umbilicus S vel C ut $\frac{FF}{AA}$, & vis centripeta in loco quovis Z orbis Y Z f, vel

Digitized by Google

PROP. XLV. PROBL. XXXI.

bis quem corpus illud in plano immobili deſcribit. Orbes autem eandem acquirent formam, ſi vires centripetæ quibus deſcribuntur, inter ſe collatæ, in æqualibus altitudinibus reddantur proportionales. Sit punctum *V* apſis ſumma, & ſcribantur T pro altitudine maximâ *CV*, A pro altitudine quâvis aliâ *CP* vel *Cp*, & X pro altitudinum differentiâ *CV*—*CP*; & vis, quâ corpus in ellipſi circa umbilicum ſuum *C* (ut in *corol.* 2.) revolvente movetur, quæque in *corol.* 2. erat ut $\frac{FF}{AA} + \frac{RGG - RFF}{A\ cub.}$, id eſt ut $\frac{FFA + RGG - RFF}{A\ cub.}$, ſubſtituendo T — X pro A, erit ut $\frac{RGG - RFF + TFF - FFX}{A\ cub.}$. Reducenda ſimiliter eſt vis alia quævis centripeta ad fractionem cujus denominator ſit A *cub.* & numeratores, factâ homologorum terminorum collatione, ſtatuendi ſunt analogi. Res exemplis patebit.

Exem-



vel in loco P, orbis Vpnπ, ut $\frac{FF}{AA} + \frac{RGG - RFF}{A3} = \frac{FFA + RGG - RFF}{A3} = \frac{RGG - RFF + TFF - FFX}{A3} = \frac{P}{A3}$; ſubſtituendo *T* — *X* pro *A* in numeratore; & *P* pro numeratore toto. Undè ſi quantitas $\frac{Q}{A3}$ vim centripetam in loco quovis Z orbis YZf exponat, eaque ſit data; erit $\frac{P}{A3}$ ad $\frac{Q}{A3}$ in datâ ratione. Sit illa ratio 1 ad *B*, & erit $\frac{PB}{A3} = \frac{Q}{A3}$, & $PB - Q = 0$. Loco *A*, in quantitate *Q*, ſubſtituatur *T*—*X*, & æqualitatis $PB - Q = 0$, termini omnes analogi ſe mutuo deſtruere debent, hoc eſt, termini omnes dati ſeu in quibus non reperitur quantitas variabilis *X* erunt ſimul nihilo æquales, & termini non dati, ſeu in quibus variabilis *X* invenitur, erunt etiam ſimul nihilo æquales, atque inde determinabitur ratio G ad F ſeu anguli VCP ad angulum VCp, faciendo ut ſint termini dati in quantitate P ad terminos non datos ejuſdem quantitatis, ita termini dati in quantitate Q, ad terminos non datos ejuſdem quantitatis. Quod exemplis patebit.

(r) *Exempl.* 1. Ponamus vim centripetam uniformem eſſe; ideoque ut $\frac{A\ cub.}{A\ cub.}$, ſive (ſcribendo T — X pro A in numeratore) ut $\frac{T\ cub. - 3\,TTX + 3\,TXX - X\ cub.}{A\ cub.}$; & collatis numeratorum terminis correſpondentibus; nimirum datis cum datis, & non datis cum non datis, fiet RGG — RFF + TFF ad T *cub.* ut — FFX ad — 3 TTX + 3 TXX — X *cub.* ſive ut — FF ad — 3 TT + 3 TX — XX. Jam cùm orbis ponatur circulo quam maximè finitimus, coeat orbis cum circulo; & ob factas R, T æquales, atque X in infinitum diminutam, rationes ultimæ erunt RGG ad T *cub.* ut — FF ad 3 TT, ſeu GG ad TT ut FF ad 3 TT, & viciſſim GG ad FF ut TT ad 3 TT, id eſt, ut 1 ad 3; ideoque G ad F, hoc eſt angulus *VCp* ad angulum *VCP*, ut 1 ad $\sqrt{3}$. Ergo cum corpus in ellipſi immobili, ab apſide ſummâ ad apſidem imam neſcendendo conficiat angulum *VCP* (ut ita dicam) graduum 180; corpus aliud in ellipſi mobili, atque ideo in orbe immobili de quo agimus, ab apſide ſummâ ad apſidem imam deſcendendo conficiet angulum *VCp* graduum $\frac{180}{\sqrt{3}}$: id ideo ob ſimilitudinem orbis hujus, quem corpus agente uniformi vi centripetâ deſcribit, & orbis illius quem corpus in

(r) * *Exemplum 1um. Ponamus vim centripetam* in orbe Y Z f *uniformem* ſeu conſtautem *eſſe*, *ideóque ut* 1, ſeu ut $\frac{A^3}{A^3}$, erit $Q = A^3 = T^3 - 3\,TTX + 3\,TXX - X^3$, & $PB = BRGG - BRFF + BTFE - BFFX$ atque adeò $BRGG - BRFF + BTFF - BFFX - T^3 + 3TTX - 3TXX + A^3 = 0$, & termini dati $BRGG - BRFF + BTFF - T^3 = 0$, ſeu $BRGG - BRFF + BTFF = T^3$, & termini non dati $- BFFX + 3TTX - 3TXX + X^3 = 0$, ſeu $BFF = 3TT - 3TX + X^2$, undè hæc proportio deducitur $BRGG - BRFF + BTFF : BFF = T^3 : 3TT - 3TX + X^2 = RGG - RFF + TFF : FF$. Jam cum orbis YZf, ponatur circulo quam maximè finitimus, coeat orbis cum circulo & ob factas R & T æquales, atquè $X = 0$, erit $X^2 = 0$, $3TX = 0$, $FF = TFF$, & hinc $T^3 : 3TT = RGG : FF : = TGG . FF$, & $T^2 : 3T^2 = 1 : 3 = GG : FF$, adeóque $G : F = 1 : \sqrt{3}$, hoc eſt, angulus V C p, eſt ad angulum V C P, ut 1, ad $\sqrt{3}$. Ergò cum corpus in ellipſi immobili V P Π, ab apſide ſummâ V ad apſidem imam Π deſcendendo, conficiat angulum V C Π grad. 180. corpus aliud in ellipſi mobili u p b, atque adeò in orbe immobili V p n π, ſeu Y Z f, ab apſide ſummâ V vel Y, ad apſidem imam π vel f, deſcendendo conficiet angulum V C π, vel Y S f grad. $\frac{180}{\sqrt{3}}$.

Digitized by Google

in ellipſi revolvente gyros peragens deſcribit in plano quieſcente. Per ſuperiorem terminorum collationem ſimiles redduntur hi orbes, non univerſaliter ſed tunc cum ad formam circularem quam maximè appropinquant. Corpus igitur uniformi cum vi centripetâ in orbe propemodum circulari revolvens, inter apſidem ſummam & apſidem imam conficiet ſemper angulum $\frac{180}{\sqrt{3}}$ graduum, ſeu 103. *gr.* 55. *m.* 23. *ſec.* ad centrum; perveniens ab apſide ſummâ ad apſidem imam ubi ſemel confecit hunc angulum, & inde ad apſidem ſummam rediens ubi iterum confecit eundem angulum; & ſic deinceps in infinitum.

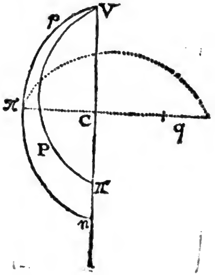
Exempl. 2. Ponamus vim centripetam eſſe ut altitudinis A dignitas quælibet A^{n-3} ſeu $\frac{A^n}{A^3}$: ubi $n-3$ & n ſignificant dignitatum indices quoſcunque integros vel fractos, rationales vel irrationales, affirmativos vel negativos. Numerator ille A^n ſeu $\overline{T-X}|^n$ in ſeriem indeterminatam per (f) methodum noſtram ſerierum convergentium reducta, evadit $T^n - nXT^{n-1} + \frac{nn-n}{2} XXT^{n-2}$ &c. Et collatis hujus terminis cum terminis numeratoris alterius $RGG-RFF+TFF-FFX$, fit $RGG-RFF+TFF$ ad T^n ut $-FF$ ad $-nT^{n-1}+\frac{nn-n}{2}XT^{n-2}$ &c.

Et

(f) * *Per methodum noſtram.* Vide fragmentum Epiſtolæ NEWTONI ad *Oldenburgium*, & theorematis ibi propoſiti demonſtrationem requiras ex Elementis Algebræ clariſſimorum Virorum *Wolfii*, Abbatis *de Molieres*, vel ex Analyſi demonſtratâ Patris *Reyneau*, aut ex aliis paſſim authoribus. Interim cùm hic ſatis ſit duos priores terminos dignitatis $\overline{T-X}^n$ reperire ob evaneſcentes terminos in quibus reperitur ipſius X dignitas primâ altior, facilè demonſtratur ex dignitatum per continuam radicis multiplicationem formatione duos illos priores terminos eſſe $T^n - n \times XT^{n-1}$. Ut ſi fuerit $n=2$, duo priores termini dignitatis $\overline{T-X}^2$, erunt $T^2 - 2 \times TX$; ſi $n=3$, erunt $T^3 - 3 \times XT^2$, & ità porrò; atque hinc patet quàm compendioſa ſit NEWTONIANA methodus motum apſidum determinandi, nam præterquam quod ſufficit duos dignitatum terminos invenire, poſſunt quoque termini æquales RFF, TFF, in formulâ $RGG-RFF+TFF-FFX$, deleri; undè tantummodò conferendus terminus datus RGG cum aliis terminis datis, & terminus non datus $-FFX$ cum aliis non datis.

Digitized by Google

Et ſumendo rationes ultimas ubi orbes ad formam circularem accedunt, fit RGG ad T^n ut $-$ FF ad $-nT^{n-1}$, ſeu GG ad T^{n-1} ut FF ad nT^{n-1}, & viciſſim GG ad FF ut T^{n-1} ad nT^{n-1} id eſt ut 1 ad n; ideoque G ad F, id eſt angulus VCp ad angulum VCP, ut 1 ad $\sqrt{n}$. Quare cum angulus VCP, in deſcenſu corporis ab apſide ſummâ ad apſidem imam in ellipſi confectus, ſit graduum 180; conficietur angulus VCp, in deſcenſu corporis ab apſide ſummâ ad apſidem imam, in orbe propemodum circulari quem corpus quodvis vi centripetâ dignitati A^{n-3} proportionali deſcribit, æqualis angulo graduum $\frac{180}{\sqrt{n}}$; & hoc angulo repetito angulus redibit ab apſide imâ ad apſidem ſummam, & ſic deinceps in infinitum. Ut ſi vis centripeta ſit ut diſtantia corporis à centro, id eſt, ut A ſeu $\frac{A^4}{A^3}$, erit n æqualis 4 & $\sqrt{n}$ æqualis 2; ideoque angulus inter apſidem ſummam & apſidem imam æqualis $\frac{180}{2}$ *gr.* ſeu 90 *gr.* Completâ igitur quartâ parte revolutionis unius corpus perveniet ad apſidem imam, & completâ aliâ quartâ parte ad apſidem ſummam, & ſic deinceps per vices in infinitum. Id (t)



(t) * *Id quod etiam ex prop.* 10. *&c.* Nam corpus urgente hâc vi centripetâ revolvetur in ellipſi immobili V p π n, cujus centrum eſt in centro virium C, axis tranſverſus V n, axis conjugatus π q, apſides ſummæ duæ V, n, imæ π, q; ellipteos autem mobilis V P Π, umbilicus erit C, axis tranſverſus V Π = V C + C π.

quod etiam ex propoſitione x. manifeſtum eſt. Nam corpus urgente hâc vi centripetâ revolvetur in ellipſi immobili, cujus centrum eſt in centro virium. Quod ſi vis centripeta ſit reciprocè ut diſtantia, id eſt directè ut $\frac{1}{A}$ ſeu $\frac{A^2}{A^3}$, erit n æqualis 2, ideoque inter apſidem ſummam & imam angulus erit graduum $\frac{180}{\sqrt{2}}$ ſeu 127 *gr.* 16. *m.* 45. *ſec.* & propterea corpus tali vi revolvens, perpetuâ anguli hujus repetitione, vicibus alternis ab apſide ſummâ ad imam & ab imâ ad ſummam perveniet in æternum. Porro ſi vis centripeta ſit reciprocè ut latus quadrato-quadratum undecimæ dignitatis altitudinis, id eſt reciprocè ut $A^{\frac{11}{4}}$, (u) ideoque directè ut $\frac{1}{A^{\frac{11}{4}}}$ ſeu ut $\frac{A^{\frac{1}{4}}}{A^3}$ erit æqualis $\frac{1}{4}$, & $\frac{180}{\sqrt{n}}$ *gr.* æqualis 360 *gr.* & propterea corpus de apſide ſummâ diſcedens & ſubinde perpetuò deſcendens, perveniet ad apſidem imam ubi complevit revolutionem integram, dein perpetuo aſcenſu complendo aliam revolutionem integram, redibit ad apſidem ſummam: & ſic per vices in æternum.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XLV. PROBL. XXXI.

Exempl. 3. Aſſumentes m & n pro quibuſvis indicibus dignitatum altitudinis, & b, c pro numeris quibuſvis datis, ponamus vim centripetam eſſe ut $\frac{bA^m + cA^n}{A\ cub.}$, id eſt, ut $\frac{b \text{ in } \overline{T-X}|^m + c \text{ in } \overline{T-X}|^n}{A\ cub.}$ ſeu (x) (per eandem methodum noſtram ſerierum convergentium) ut

(u) * *Ideoque directè ut* $\frac{1}{A^{\frac{11}{4}}}$, *ſeu ut* $\frac{A^{\frac{1}{4}}}{A^3}$, cum ſit $A^3 = A^{\frac{12}{4}}$, & proindè eſt $\frac{A^3}{A^{\frac{11}{4}}} = A^{\frac{1}{4}}$, atquè ità $\frac{1}{A^{\frac{11}{4}}} = \frac{A^{\frac{1}{4}}}{A^3}$.

(x) * *Seu per eandem methodum.* Etenim dignitas $\overline{T-X}^m$, evoluta, eſt $T^m - mXT^{m-1}$ &c. adeóque $b \times \overline{T-X}^m = bT^m - mbXT^{m-1}$ &c. & ſimiliter $c \times \overline{T-X}^n = cT^n - ncXT^{n-1}$ &c. undè $b \times \overline{T-X}^m + c \times \overline{T-X}^n = bT^m + cT^n - mbXT^{m-1} - ncXT^{n-1}$ &c.

ut $\frac{bT^{m} + cT^{n} - mbXT^{m-1} - ncXT^{n-1} + \frac{mm-m}{2}bXXT^{m-2}}{A\ cub.}$ $+ \frac{\frac{nn-n}{2}cXXT^{n-2}\ \&c.}{A\ cub.}$ & collatis numeratorum terminis; fiet $RGG - RFF + TFF$ ad $bT^{m} + cT^{n}$, ut $-FF$ ad $-mbT^{m-1} - ncT^{n-1} + \frac{mm-m}{2}bXT^{m-2} + \frac{nn-n}{2}cXT^{n-2}$ &c. Et ſumendo rationes ultimas quæ prodeunnt ubi orbes ad formam circularem accedunt, fit GG ad $bT^{m-1} + cT^{n-1}$, ut FF ad $mbT^{m-1} + ncT^{n-1}$, & viciſſim GG ad FF ut $bT^{m-1} + cT^{n-1}$ ad $mbT^{m-1} + ncT^{n-1}$. Quæ proportio, exponendo altitudinem maximam *CV* ſeu T arithmeticè per unitatem, fit GG ad FF ut $b + c$ ad $mb + nc$, ideoque ut 1 ad $\frac{mb + nc}{b + c}$. Unde eſt G ad F, id eſt angulus *VCp* ad angulum *VCP*, ut 1 ad $\sqrt{\frac{mb+nc}{b+c}}$. Et propterea cum angulus *VCP* inter apſidem ſummam & apſidem imam in ellipſi immobili ſit 180 *gr.* erit angulus *VCp* inter eaſdem apſides, in orbe quem corpus vi centripetâ quantitati $\frac{bA^{m} + cA^{n}}{A\ cub.}$ proportionali deſcribit, æqualis angulo graduum $180\sqrt{\frac{b+c}{mb+nc}}$. Et (y) eodem argumento ſi vis centripeta ſit ut $\frac{bA^{m} - cA^{n}}{A\ cub.}$, angulus

(y) * *Et eodem argumento.* Si vis centripeta ſit ut $\frac{bA^{m} - cA^{n}}{A^{3}}$, id eſt ut $b \times \overline{T-X}^{m} - c \times \overline{T-X}^{n}$, ſeu ut $\frac{bT^{m} - cT^{n} - mbXT^{m-1} + ncXT^{n-1}\ \&c.}{A^{3}}$ collatis terminis fiet RGG, hoc eſt TGG ad $bT^{m} - cT^{n}$, ut $-FF$ ad $-mbT^{m-1} + ncT^{n-1}$, adeóque GG ad $bT^{m-1} - cT^{n-1}$, ut FF ad $mbT^{m-1} - ncT^{n-1}$, & ponendo $T = 1$, erit $GG : FF = b - c : mb - nc = 1 : \frac{mb - nc}{b - c}$, & $G : F = 1 : \sqrt{\frac{mb - nc}{b - c}}$.

Digitized by Google

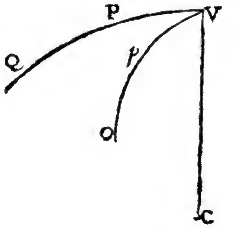
gulus inter apſides invenietur graduum $180\sqrt{\frac{b-c}{mb-nc}}$. Nec ſecus reſolvetur problema in caſibus difficilioribus. Quantitas, cui vis centripeta proportionalis eſt, reſolvi ſemper debet in ſeries convergentes denominatorem habentes A *cub.* Dein pars data numeratoris qui ex illâ operatione provenit ad ipſius partem alteram non datam, & pars data numeratoris hujus $RGG - RFF + TFF - FFX$ ad ipſius partem alteram non datam in eâdem ratione ponendæ ſunt: Et quantitates ſuperfluas delendo, ſcribendoque unitatem pro T, obtinebitur proportio G ad F.

Corol. 1. Hinc ſi vis centripeta ſit ut aliqua altitudinis dignitas, inveniri poteſt dignitas illa ex motu apſidum; & contra. Nimirum ſi motus totus angularis, quo corpus redit ad apſidem eandem, ſit ad motum angularem revolutionis unius, ſeu graduum 360, ut numerus aliquis *m* ad numerum alium *n*, & altitudo nominetur A: erit vis ut altitudinis dignitas illa $A^{\frac{nn}{mm}-3}$, cujus index eſt $\frac{nn}{mm}-3$. Id (z) quod per exempla ſecunda manifeſtum eſt. (a) Unde liquet vim illam in majore quàm triplicatâ altitudinis ratione, in receſſu à centro, decreſcere

(z) 452. * *Id quod per exempla ſecunda manifeſtum eſt.* Si in exemplo ſecundo loco indicis n, ad confuſionem tollendam ſcribatur p, erit vis centripeta, ut A^{p-3}, & angulus confectus in deſcenſu ab apſide ſummâ ad apſidem imam æqualis angulo $\frac{180°}{\sqrt{p}}$, adeóque duplus ille angulus ſeu motus totus angularis quo corpus ab apſide ſummâ redit ad eandem erit $\frac{360}{\sqrt{p}}$ in exemplo ſecundo. Eſt autem in caſu corollarii hujus, motus totus angularis quo corpus redit ad apſidem eandem æqualis angulo $\frac{360\,m}{n}$, ergò $\frac{360}{\sqrt{p}} = \frac{360\,m}{n}$, & $\frac{1}{\sqrt{p}} = \frac{m}{n}$, & $\frac{1}{p} = \frac{mm}{nn}$, & $\frac{nn}{mm} = p$; quare $A^{p-3} = A^{\frac{nn}{mm}-3}$

(a) 453. *Unde liquet vim illam.* Nam ſi vis eſſet ut $\frac{1}{A^{3+q}}$, ſeu ut A^{-3-q}, ſitque $+q$ quantitas poſitiva, eſſet $\frac{nn}{mm}-3 = -3-q$, & $\frac{nn}{mm} = -q$, hoc eſt, quadratum quantitatis $\frac{n}{m}$ negativum, quod abſurdum eſt: non poteſt igitur vis in majore quam in triplicatâ altitudinis ratione ſeu in ratione $\frac{1}{A^{3+q}}$, in receſſu à centro decreſcere.

cere non poſſe: (b) Corpus tali vi revolvens deque apſide diſcedens, ſi cœperit deſcendere, nunquam perveniet ad apſidem imam ſeu altitudinem minimam, ſed deſcendet uſque ad centrum, deſcribens curvam illam lineam de quâ egimus in *corol.* 3. *prop.* XLI. Sin cœperit illud, de apſide diſcedens, vel minimum aſcendere; aſcendet in infinitum, neque unquam perveniet ad apſidem ſummam. Deſcribet enim curvam illam lineam de quâ actum eſt in eodem *corol.* & in *corol.* VI. *prop.* XLIV. Sic (c) & ubi vis, in receſſu à centro, decreſcit in majore quam triplicatâ ratione altitudinis, corpus de apſide diſcedens, perinde ut cœperit deſcendere vel aſcendere, uel deſcendet ad centrum



(b) * *Corpus tali vi revolvens*, hoc eſt, vi quæ in receſſu à centro decreſcat in ratione altitudinis triplicatâ deque apſide diſcedens &c. Sint enim ut in *coroll.* 3°. prop. 41. duæ curvæ V p O, V P Q, quas corpora duo de loco V, ſecundum directionem ad C V perpendicularem egreſſa, vi centripetâ ad C tendente, & in triplicatâ altitudinis ratione decreſcente in receſſu à centro deſcribunt, & corpus in curva V p O, latum ad centrum ſemper accedat, corpus verò in curvâ VPQ, motum à centro ſemper recedat ut in eodem *cor.* 3°. *prop.* 41. manifeſtum eſt punctum V eſſe apſidem ſummam in curvâ V p O, & eſſe apſidem imam in curvâ V P Q; Quarè cum in curva V p O, corpus ad centrum ſemper accedat, nunquam pervenire poteſt ad apſidem imam, ſeu altitudinem minimam quæ nulla eſt, ſed gyris infinitis deſcendit uſque ad centrum; in curvâ verò V P Q de apſide imâ diſcedens corpus aſcendit in infinitum, nequè unquam pervenit ad apſidem ſummam quæ nulla eſt. Hæc demonſtrari etiam poſſunt hâc ratione; Si fuerit vis ut $\frac{1}{A^3}$, ſeu ut A^{-3}, erit $\frac{nn}{mm} - 3 = -3$, & $\frac{nn}{mm} = 0 = p$ (452) & motus totus angularis ab apſide ad eandem apſidem erit $\frac{360°}{\sqrt{p}} = \frac{360}{0}$; motus verò angularis ab apſide ſummâ ad imam, vel ab imâ ad ſummam erit $\frac{180°}{0}$ quæ eſt quantitas infinita, undè liquet in noſtrâ Hypotheſi corpus ab apſide imâ ad ſummam aut à ſummâ ad imam nunquam pervenire poſſe.

(c) * *Sic & ubi vis in receſſu à centro.* Si vis fuerit ut $\frac{1}{A^{3+q}}$, & q, quantitas poſitiva, erit (453) $\frac{nn}{mm} = -q = p$, & (452) motus totus angularis ab apſide ad apſidem eandem erit $\frac{360°}{\sqrt{-q}}$, & ab apſide unâ ad alteram erit $\frac{180°}{\sqrt{-q}}$: quarè ob imagi-

trum uſque vel aſcendet in infinitum. At (d) ſi vis, in receſſu à centro, vel decreſcat in minore quam triplicatâ ratione altitudinis, vel creſcat in altitudinis ratione quâcunque; corpus nunquam deſcendet ad centrum uſque, ſed ad apſidem imam aliquando perveniet: & (e) contra, ſi corpus de apſide ad apſidem alternis vicibus deſcendens & aſcendens nunquam appellat ad centrum; vis in receſſu à centro aut augebitur, aut in minore quam triplicatâ altitudinis ratione decreſcet: & quo citius corpus de apſide ad apſidem redierit, eo longius ratio virium recedet à ratione illâ triplicatâ. Ut ſi corpus revolutionibus 8 vel 4 vel 2 vel 1 ½ de apſide ſummâ ad apſidem ſummam alterno deſcenſu & aſcenſu redierit; hoc eſt, ſi fuerit *m* ad *n* ut 8 vel 4 vel

ginariam quantitatem $\sqrt{-q}$, impoſſibile eſt ut corpus de apſide ſummâ diſcedens, adeóque ad centrum accedens, ad apſidem imam unquam perveniat, & ut de apſide imâ diſcedens ac proindè à centro recedens unquam perveniat ad apſidem ſummam.

(d) * *At ſi vis in receſſu à centro.* Sit vis ut $\frac{1}{A^{3-q}}$, & q, quantitas poſitiva erit $\frac{nn}{mm} - 3 = -3 + q$, & $\frac{nn}{mm} = q = p$ (452.) Undè motus totus angularis ab apſide ad eandem erit $\frac{360°}{\sqrt{p}} = \frac{360m}{n}$, motus angularis ab apſide unâ ad alteram $= \frac{180}{\sqrt{p}} = \frac{180m}{n}$, quæ ſunt quantitates reales & poſitivæ, quarè in hâc Hypotheſi corpus ab apſide ad apſidem eandem redire & ab apſide ſummâ ad imam atque ab imâ ad ſummam pervenire poterit. Eſt autem $\frac{1}{A^{3-q}}$, altitudinis A dignitas, ſi fuerit q major quam 3, è contrà $\frac{1}{A^{3-q}}$ eſt dignitas quantitatis $\frac{1}{A}$, ſi fuerit q minor quam 3. Liquet igitur, ſi vis in receſſu à centro vel decreſcat in minore quam triplicatâ ratione altitudinis, (quod fit ubi q minor quam 3) vel creſcat in altitudinis ratione quâcumque (quod fit ubi q, major quam 3) corpus nunquam deſcendere ad centrum uſque, ſed ad apſidem imam aliquandò pervenire.

(e) * *Et contra ſi corpus de apſide ad apſidem &c.* Nam ſi vis in receſſu à centro non augeatur, nec etiam minuatur in minore quàm triplicatâ altitudinis ratione, neceſſariò decreſcet vel in triplicatâ vel in majore quàm triplicatâ altitudinis ratione, ſed ſupra demonſtratum eſt in his duobus caſibus corpus non poſſe ab apſide ad apſidem alternis vicibus deſcendere & aſcendere, ergò ſi corpus de apſide ad apſidem alternis vicibus deſcendens & aſcendens nunquam appellat ad centrum, vis in receſſu à centro augebitur, aut in minore quam triplicatâ altitudinis ratione decreſcet, & quo citiùs corpus de apſide ad apſidem redierit, eò longiùs ratio virium recedet à ratione illâ triplicatâ. Quo enim citiùs corpus de apſide ad apſidem redierit, eò minor erit quantitas $\frac{360m}{n}$, aut quantitas $\frac{m}{n}$, adeoque eò major erit quantitas $\frac{n}{m}$, ejuſque quadratum $\frac{nn}{mm} = p = q$, & hinc eò longiùs quantitas $\frac{1}{A^{3-q}}$ à quantitate $\frac{1}{A^3}$ recedet.

4 vel 2. vel 1 ½ ad 1, ideoque $\frac{nn}{mm} - 3$ valeat $\frac{1}{64} - 3$ vel $\frac{1}{16} - 3$ vel $\frac{1}{4} - 3$ vel $\frac{4}{9} - 3$: erit vis ut $A^{\frac{1}{64} - 3}$ vel $A^{\frac{1}{16} - 3}$ vel $A^{\frac{1}{4} - 3}$ vel $A^{\frac{4}{9} - 3}$, id eſt, reciprocè ut $A^{3 - \frac{1}{64}}$ vel $A^{3 - \frac{1}{16}}$ vel $A^{3 - \frac{1}{4}}$ vel $A^{3 - \frac{4}{9}}$. Si corpus ſingulis revolutionibus redierit ad apſidem eandem immotam; erit m ad n ut 1 ad 1, ideoque $A^{\frac{nn}{mm} - 3}$ æqualis A^{-2} ſeu $\frac{1}{AA}$; & propterea decrementum virium in ratione duplicatâ altitudinis, ut (f) in præcedentibus demonſtratum eſt. Si corpus partibus revolutionis unius vel tribus quartis, vel duabus tertiis, vel unâ tertiâ, vel unâ quartâ, ad apſidem eandem redierit; erit m ad n ut $\frac{3}{4}$ vel $\frac{2}{3}$ vel $\frac{1}{3}$ vel $\frac{1}{4}$ ad 1, ideoque $A^{\frac{nn}{mm} - 3}$ æqualis $A^{\frac{16}{9} - 3}$ vel $A^{\frac{9}{4} - 3}$ vel $A^{9 - 3}$ vel $A^{16 - 3}$; & (g) propterea vis aut reciprocè ut $A^{\frac{11}{9}}$ vel $A^{\frac{3}{4}}$ aut directè ut A^{6} vel A^{13}. Denique ſi corpus pergendo ab apſide ſummâ ad apſidem ſummam confecerit revolutionem integram, & præterea gradus tres, ideoque apſis illa ſingulis corporis revolutionibus confecerit in conſequentia gradus tres; erit m ad n ut 363 *gr.* ad 360. *gr.* ſive ut 121 ad 120, (h) ideoque $A^{\frac{nn}{mm} - 3}$ erit

(f) * *Ut in præcedentibus demonſtratum eſt.* In hoc enim caſu corpus deſcribit ellipſim immotam circulo finitimam (*per cor.* 1. *prop.* XIII) intereadum æqualiter movetur in ellipſi ſimili & æquali circa umbilicum revolvente eum celeritate duplâ ejus quâ corpus idem in eâdem ellipſi mobili fertur (446).

(g) * *Et propterea vis aut reciprocè. Ut $A^{\frac{11}{9}}$, vel $A^{\frac{3}{4}}$, ut] directè aut A^{6}, vel A^{13}.* Eſt enim $A^{\frac{16}{9} - 3} = A^{-\frac{11}{9}} = \frac{1}{A^{\frac{11}{9}}}$, & $A^{\frac{9}{4} - 3} = \frac{1}{A^{\frac{3}{4}}}$ & $A^{9-3} = A^{6}$ & $A^{16-3} = {}^{13}$.

(h) * *Ideóque $A^{\frac{nn}{m m} - 3}$ erit æquale $A^{\frac{29523}{14641}}$.* Erit enim in hâc hypotheſi $\frac{nn}{mm} = \frac{14400}{14641}$, & $\frac{nn}{mm} - 3 = \frac{14400}{14641} - 3 = \frac{29523}{14641}$. Eſt autem $\frac{29523}{14641} = 2 + \frac{241}{14641} = 2 + \frac{4}{243}$, proximè; nam $241 \times 243 = 58563$, & $4 \times 14641 = 58564$; decreſcit igitur vis centripeta in ratione paulò majore quam duplicatâ, ſed quæ vicibus 59 ¾, propiùs ad duplicatam quam ad triplicatam accedit,

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XLV. PROBL. XXXI.

erit æquale $A^{-\frac{29523}{14641}}$; & propterea vis centripeta reciprocè ut $A^{\frac{29523}{14641}}$ ſeu reciprocè ut $A^{2\frac{4}{243}}$ proximè. Decreſcit igitur vis centripeta in ratione paulo majore quam duplicatâ, ſed quæ vicibus $59\frac{3}{4}$ propius ad duplicatam quam ad triplicatam accedit.

Corol. 2. Hinc etiam ſi corpus, vi centripetâ quæ ſit reciprocè ut quadratum altitudinis, revolvatur in ellipſi umbilicum habente in centro virium, & huic vi centripetæ addatur vel auferatur vis alia quævis extranea; cognoſci poteſt (per exempla tertia) motus apſidum qui ex vi illâ extraneâ orietur: & contra. Ut ſi vis quâ corpus revolvitur in ellipſi ſit ut $\frac{1}{AA}$, & vis extranea ablata ut c A, ideoque vis reliqua ut $\frac{A - cA^4}{A\ cub.}$; erit (in exemplis tertiis) b æqualis 1, m æqualis 1, & n æqualis 4, ideoque angulus revolutionis inter apſides æqualis angulo graduum $180\sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$. (i) Ponamus vim illam extraneam eſſe 357. 45 partibus minorem quam vis altera quâ corpus revolvitur

dit, differentia enim inter 2, & $2 + \frac{4}{243}$, eſt $\frac{4}{243}$, differentia verò inter 3 & $2 + \frac{4}{243}$ eſt $1 - \frac{4}{243} = \frac{239}{243}$. Porrò $\frac{239}{243}$ eſt ad $\frac{4}{243}$ ſeu 239 ad 4 ut $59\frac{3}{4}$ ad 1.

(i) * *Ponamus eſſe* $c \times A$ ad $\frac{1}{AA}$, hoc eſt, ponendo A vel T $= 1$, c ad 1, ut 100 ad 35745, id eſt, ut 1 ad 357, 45, & erit $c = \frac{100}{35745}$, $1 - c = \frac{35645}{35745}$, $1 - 4c = \frac{35345}{35745}$; undè $\frac{1-c}{1-4c} = \frac{35645}{35345}$, & hinc $180 \times \sqrt{\frac{1-c}{1-4c}} = 180 \times \sqrt{\frac{35645}{35345}}$ &c.

454. Scholium. *Hermannus* in ſcholio ad *prop.* 25. *lib.* 1. *Phoronomiæ* formulam invenit quâ ex datâ vi centripetâ motus apſidum determinatur, & contrà; hanc ipſam ex priùs oſtenſis hic demonſtrabimus. Iiſdem igitur poſitis quæ in not. 449, ſit vis centripeta in ellipſeos mobilis loco quovis p, ſeu (451) vis $\frac{VFFA + VRGG - VRFF}{A^3} = \frac{y}{A^3} = \frac{y}{z^3}$, ponendo altitudinem $A = z$, & erit (450) $= VFFz + VRGG - VRFF$; capiantur utrinque fluxiones & invenietur $dy = VFFdz$, & faciendo $Q\,dz = dy$, erit $Q = VFF$. Loco VFF, ipſius valor Q ſubſtituatur in ſuperiori æquatione, & erit $y = Qz + \frac{QRGG - QRFF}{FF} = Qz \cdot QR + \frac{QRGG}{FF}$.

Jam

vitur in ellipſi, id eſt c eſſe $\frac{100}{35745}$, exiſtente A vel T æquali 1; & $180\sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$ evadet $180\sqrt{\frac{35645}{35345}}$, ſeu 180.7623, id eſt, 180 *gr.* 45 *m.* 44 *ſ.* Igitur corpus de apſide ſummâ diſcedens, motu angulari 180 *gr.* 45 *m.* 44 *ſ.* perveniet ad apſidem imam, & hoc motu duplicato ad apſidem ſummam redibit: ideoque apſis ſumma ſingulis revolutionibus progrediendo conficiet 1 *gr.* 31 *m.* 28 *ſec.* Apſis lunæ eſt duplo velocior circiter.

Hactenus de motu corporum in orbibus quorum plana per centrum virium tranſeunt. Supereſt ut motus etiam determinemus in planis excentricis. Nam ſcriptores qui motum gravium tractant, conſiderare ſolent aſcenſus & deſcenſus ponderum, tam obliquos in planis quibuſcunque datis, quam perpendiculares: & pari jure motus corporum viribus quibuſcunque centra petentium, & planis excentricis innitentium hic conſiderandus venit. Plana autem ſupponimus eſſe politiſſima & abſolutè lubrica ne corpora retardent. Quinimo, in his demonſtrationibus, vice planorum quibus corpora incumbunt quæque tangunt incumbendo, uſurpamus plana his parallela, in quibus centra corporum moventur & orbitas movendo deſcribunt. Et eadem lege motus corporum in ſuperficiebus curvis peractos ſubinde determinamus.

SEC-

Jam cum orbis ponatur circulo quam maximè finitimus, erit $z = R = T$, & proindè $y = \frac{QTGG}{FF}$ & hinc $GG : FF = y : QT$, ac $G : F = \sqrt{y} : \sqrt{QT}$ quæ eſt formula generalis quæſita. Nam ſit, exempli causâ, vis centripeta ut $\frac{bz^m + cz^n}{z^3}$ hoc eſt $y = bz^m + cz^n$, erit $dy = Qdz = mbz^{m-1}dz + ncz^{n-1}dz$; unde $Q = mbz^{m-1} + ncz^{n-1}$, atque ità per formulam inventam $GG : FF = bz^m + cz^n : Tmbz^{m-1} + Tncz^{n-1}$, & ponendo $z = T = 1$, $GG : FF = b + c : mb + nc$, ut in exemplis tertiis NEWTONUS invenit.

Sit nunc data ratio G ad F, nempe m ad n, & vis centripeta ſit ut dignitas aliqua non data altitudinis z, illius dignitatis index dicatur p, ſitque adeò vis centripeta ut z^p, & erit $\frac{y}{z^3} = z^p$, ac $y = z^{p+3}$, $dy = Qdz = p+3 \times z^{p+2}dz$, $Q = p+3 \times z^{p+2}$. Hinc $G^2 : F^2 = m^2 : n^2 = z^{p+3} : p+3 \times Tz^{p+2}$, hoc eſt, ponendo $z = T = 1$, $mm : nn = 1 : p+3$, atque ità $\frac{nn}{mm} = p+3$, & $\frac{nn}{mm} - 3 = p$, ut in cor. 1. repertum eſt.

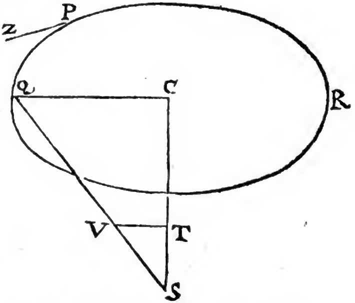
SECTIO X.

De motu corporum in ſuperficiebus datis, deque funipendulorum motu reciproco.

PROP. XLVI. PROBL. XXXII.

PROPOSITIO XLVI. PROBLEMA XXXII.

Poſitâ cujuſcunque generis vi centripetâ, datoque tum virium centro tum plano quocunque in quo corpus revolvitur, & conceſſis figurarum curvilinearum quadraturis: requiritur motus corporis de loco dato, datâ cum velocitate, ſecundum rectam in plano illo datam egreſſi.



Sit S centrum virium, SC diſtantia minima centri hujus à plano dato, P corpus de loco P ſecundum rectam PZ egrediens, Q corpus idem in trajectoriâ ſuâ revolvens, & PQR trajectoria illa, in plano dato deſcripta, quam invenire oportet. Jungantur CQ, QS, & ſi in QS capiatur SV proportionalis vi centripetæ quâ corpus trahitur verſus centrum S; & agatur VT quæ ſit parallela CQ, & occurrat SC in T: Vis SV reſolvetur (*per legum corol.* 2.) in vires ST, TV; quarum ST trahendo corpus ſecundum lineam plano perpendicularem, nil mutat motum ejus in hoc plano. Vis autem altera TV, agendo ſecundum poſitionem plani, trahit corpus directè verſus punctum C in plano datum, ideoque efficit, ut corpus illud in hoc plano perinde moveatur, ac ſi vis ST tolleretur, & corpus vi ſolâ TV revolveretur circa (k) centrum C in ſpatio libero. Datâ autem vi centripetâ TV quâ corpus Q in ſpatio

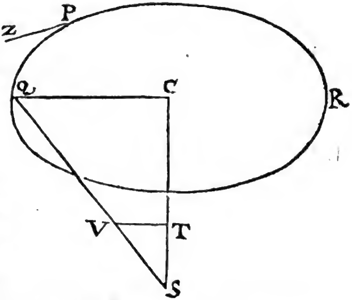
(k) * 455. *Circà centrum* C *in ſpatio libero.* Vis centripeta SV, ad S tendens in loco quovis Q, dicatur Q, & erit ob triangula SVT, SQC ſimilia. SQ : QC

libero circa centrum datum *C* revolvitur, datur (*per prop.* XLII.) tum trajectoria *P Q R*, quam corpus deſcribit, tum locus *Q*, in quo corpus ad datum quodvis tempus verſabitur, tum denique velocitas corporis in loco illo *Q*; & contra. *Q. E. I.*

PROP. XLVII. THEOR. XV.

PROPOSITIO XLVII. THEOREMA XV.

Poſito quod vis centripeta proportionalis ſit diſtantiæ corporis à centro; corpora omnia in planis quibuſcunque revolventia deſcribent ellipſes, & revolutiones temporibus æqualibus peragent; quæque moventur in lineis rectis, ultrò citròque diſcurrendo, ſingulas eundi & redeundi periodos iiſdem temporibus abſolvent.



Nam, ſtantibus quæ in ſuperiore propoſitione, vis *S V*, quâ corpus *Q* in plano quovis *P Q R* revolvens trahitur verſus centrum *S*, eſt ut diſtantia *S Q*; atque ideo ob proportionales *S V* & *S Q*, *T V* & *C Q*, vis *T V*, quâ corpus trahitur verſus punctum *C* in orbis plano datum, eſt ut diſtantia *C Q*. Vires igitur, quibus corpora in plano *P Q R* verſantia trahuntur ver-

$QC = SV$ ſeu $Q : VT = \frac{Q \times QC}{SQ}$. Sed ob angulum QCS rectum $SQ^2 = QC^2 + SC^2$, ergò VT, ſeu vis ad C tendens in loco Q, ſive $\frac{Q \times QC}{SQ}$ erit æqualis $\frac{Q \times QC}{\sqrt{QC^2 + SC^2}}$. Cum igitur data ſit S C diſtantia minima centri S à plano Q P C poſitione dato, ſi loco S Q in quantitate Q, ſcribatur $\sqrt{QC^2 + SC^2}$, obtinebitur valor vis ad C tendentis in loco Q ex ſolâ diſtantiâ Q C & quantitatibus datis compoſitus. Exempli causâ, ſi vis S V, ad S tendens in loco Q ſit ut diſtantia S Q, erit V T, ſeu vis ad C tendens in eodem loco Q, ut $\frac{SQ \times QC}{SQ}$ hoc eſt, ut Q C. Si vis S V fuerit ut $\frac{1}{SQ^2}$, erit V T, ut $\frac{QC}{SQ^3}$, hoc eſt, ut $\frac{QC}{QC^2 + SC^2 \times \sqrt{QC^2 + SC^2}}$, & ità de cæteris ſuppoſitionibus.

ſus punctum C, ſunt (l) pro ratione diſtantiarum æquales viribus quibus corpora undiquaque trahuntur verſus centrum S; & propterea corpora movebuntur iiſdem temporibus, in iiſdem figuris, in plano quovis PQR circa punctum C, atque in ſpatiis liberis circa centrum S; ideoque (*per corol.* 2. *prop.* X. *& corol.* 2. *prop.* XXXVIII) temporibus ſemper æqualibus, vel deſcribent ellipſes in plano illo circa centrum C, vel periodos movendi ultrò citròque in lineis rectis per centrum C in plano illo ductis, complebunt. *Q. E. D.*

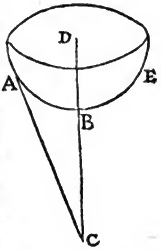
PROP. XLVII. THEOR. XV.

Scholium.

His affines ſunt aſcenſus ac deſcenſus corporum in ſuperficiebus curvis. (m) Concipe lineas curvas in plano deſcribi, dein circum axes quoſvis datos per centrum virium tranſeuntes revolvi, & eâ revolutione ſuperficies curvas deſcribere; tum corpora ita moveri ut eorum centra in his ſuperficiebus perpetuo reperiantur. Si corpora illa obliquè aſcendendo & deſcendendo currant ultrò citròque; peragentur eorum motus in planis per axem tranſeuntibus, atque ideo in lineis curvis, quarum revolu-

(l) * *Sunt pro ratione diſtantiarum &c.* Hoc eſt *vires abſolutæ ad S & C tendentes ſunt æquales, ita ut ſi alicubi* fuerit $PC = QS$, vis in loco P ad C tendens æqualis erit vi in loco Q ad S tendenti. Nam vis quâ corpus in loco Q ad C trahitur, eſt ad vim quâ versùs S urgetur, ut QC ad QS, & vis in loco Q ad C tendens eſt etiam ad vim in loco P ad idem centrum C urgentem ut QC ac PC ſeu QS; quarè vis in loco Q ad S tendens æqualis eſt vi ad C tendenti in loco P; Corpora verò quæ moventur viribus centripetis quæ ſunt ut diſtantiæ, temporibus ſemper æqualibus ellipſes quaſvis, utut inæquales, deſcribent circà ſua centra (*per Prop.* X). Si autem ellipſeos PQR quam corpus in plano deſcribit, latitudo in infinitum minuatur, deſcribet corpus rectam aliquam QCR, motu accelerato ad centrum C accedens, & motu retardato ab ipſo recedens uſque ad R, deindè rursùs ex loco R, ad centrum C recidens, & ità circà centrum C, ultrò citróque oſcillabitur.

(m) * *Concipe lineam curvam* AB in plano ACED deſcriptam circà axem datum DBC per centrum virium C tranſeuntem revolvi & eâ revolutione ſuperficiem curvam AEB deſcribi, tùm corpus aliquod A ità moveri, ut illius centrum in hâc ſuperficie perpetuò reperiatur. Si corpus illud obliquè deſcendendo & aſcendendo per ABE, EBA currat ultrò citroque peragetur illius motus in plano ACED per axem CD tranſeunte, atque adeò in lineâ curvâ ABE, cum (ex hyp.) nulla adſit vis quæ corpus à plano illo cogat deflectere; ſi perficies AEB perfectè terſa ac polita ſupponitur.



lutione curvæ illæ ſuperficies genitæ ſunt. Iſtis igitur in caſibus ſufficit motum in his lineis curvis conſiderare.

PROP. XLVIII. THEOR. XVI.

PROPOSITIO XLVIII. THEOREMA XVI.

Si rota globo extrinſecus ad angulos (n) *rectos inſiſtat, & more rotarum revolvendo progrediatur in circulo maximo; longitudo itineris curvilinei, quod punctum quodvis in rotæ perimetro datum, ex quo globum tetigit, confecit, (quodque cycloidem vel epicycloidem nominare licet) erit ad duplicatum ſinum verſus arcus dimidii qui globum ex eo tempore inter eundum tetigit, ut ſumma diametrorum globi & rotæ ad ſemidiametrum globi.*

PROPOSITIO XLIX. THEOREMA XVII.

Si rota globo concavo ad rectos angulos intrinſecus inſiſtat & revolvendo progrediatur in circulo maximo; longitudo itineris curvilinei quod punctum quodvis in rotæ perimetro datum, ex quo globum tetigit, confecit, erit ad duplicatum ſinum verſum arcus dimidii qui globum toto hoc tempore inter eundum tetigit, ut differentia diametrorum globi & rotæ ad ſemidiametrum globi.

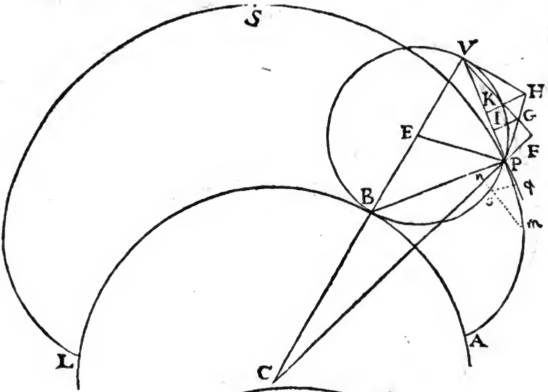
Sit *ABL* globus, C centrum ejus, *BPV* rota ei inſiſtens, *E* centrum rotæ, *B* punctum contactus, & P punctum datum in perimetro rotæ. Concipe hanc rotam pergere in circulo maximo *ABL* ab *A* per *B* verſus *L*, & inter eundum ita revolvi ut arcus *AB*, *PB* ſibi invicem ſemper æquentur, atque punctum illud *P* in perimetro rotæ datum interea deſcribere viam curvilineam *AP*. Sit autem *AP* via tota curvilinea deſcripta ex quo rota globum tetigit in *A*, & erit viæ hujus longitudo *AP* ad duplum ſinum verſum arcus $\frac{1}{2}$ *PB*, ut 2 *CE* (o) ad *CB*. Nam recta *CE* (ſi opus eſt producta) occurrat rotæ in *V*, junganturque *CP*, *BP*, *EP*, *VP*, & in *CP* productam demittatur normalis *VF*. Tangant *PH*, *VH* circulum in *P* & *V* concurrentes in *H*, ſecetque *PH*, ipſam *VF* in *G*, & ad *VP* demittantur normales *GI*, *HK*. Centro item *C* & intervallo quovis deſcribatur circulus *nom* ſecans rectam *CP* in *n*, rotæ peri-

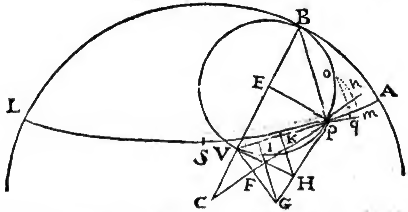
(n) * *Ad angulos rectos*, id eſt, ità ut planum rotæ productum per centrum globi tranſeat, illudque proindè in duo hæmiſpheria dividat ac circulum maximum in ejus ſuperficie ſignet.

(o) * *Ut* 2 *C E ad C B*. Hoc eſt, ob 2 C E = 2 C B + 2 B E, vel 2 C E = 2 CB — 2 B E, ut ſumma vel differentia diametrorum globi & rotæ ad ſemidiametrum globi.

Digitized by Google

metrum $B\,P$ in o, & viam curvilineam $A\,P$ in m; centroque V & intervallo $V\,o$ deſcribatur circulus ſecans $V\,P$ productam in q.

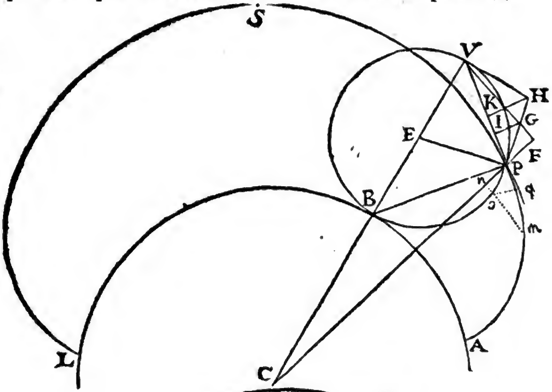


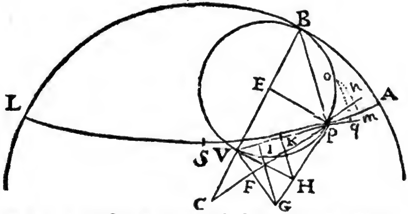


Quoniam rota eundo ſemper revolvitur circa punctum contactus B, (p) manifeſtum eſt quod recta $B\,P$ perpendicularis eſt ad

(p) * *Manifeſtum eſt quod recta B P &c.* Nam evidens eſt in circuli B P V revolutione, centro B radio B P ſingulis tempuſculis deſcribi arcum circuli ſeu incrementum naſcens curvæ A P, ad quod proinde radius B P perpendicularis eſt, ſed ob angulum V P B in ſemicirculo rectum, linea V P in eum radium B P eſt perpendicularis, ergo linea V P eſt Tangens ejus arcus naſcentis ſeu incrementi curvæ A P, ideoque ipſius curvæ A P.

lineam illam curvam *AP* quam rotæ punctum *P* deſcribit, atque ideo quod recta *VP* tanget hanc curvam in puncto *P*.





Circuli *n o m* radius ſenſim auctus vel diminutus æquetur tandem diſtantiæ *CP*; &, ob (q) ſimilitudinem figuræ evaneſcen-

(q) * *Et ob ſimilitudinem figuræ evaneſcentis.* Hâc figurâ evaneſcente arcus P o, P q, conſiderari poſſunt tanquam lineæ rectæ, ſeu partes tangentium H P, V P productarum, & arcus m n, o q, tanquam rectæ lineis P n, P q, perpendiculares; Hinc verò anguli ad verticem oppoſiti n P o & G P F, O P m & G P I, erunt æquales, atquè adeò ob angulos o n P & G F P, o q P & G I P, rectos, proindèque æquales, figura evaneſcens P n o m q, ſimilis erit figuræ P F G V I.

Digitized by Google

tis *P n o m q* & figurâ *P F G V I*, ratio ultima lineolarum evaneſcentium *P m*, *P n*, *P o*, *P q*, id ([r]) eſt, ratio mutationum momentanearum curvæ *A P*, rectæ *C P*, arcus circularis *B P*, ac rectæ *V P*, eadem erit quæ linearum *P V*, *P F*, *P G*, *P I* reſpectivè. Cum autem *V F* ad *C F* & *V H* ad *C V* perpendiculares ſint, angulique ([ſ]) *H V G*, *V C F* propterea æquales; & ([t]) angulus *V H G* (ob angulos quadrilateri *H V E P* ad *V* & *P* rectos) angulo *C E P* æqualis eſt, ſimilia erunt triangula *V H G*, *C E P*; & inde fiet ut *E P* ad *C E* ita *H G* ad *H V* ([u]) ſeu *H P* & ita ([x]) *K I* ad *K P*, & ([y]) compoſitè vel diviſim ut *C B* ad *C E* ita *P I* ad *P K*, & duplicatis conſequentibus ut *C B* ad 2 *C E* ita ([z]) *P I* ad *P V*, atque ita *P q* ad *P m*. Eſt ([a]) igitur decrementum lineæ *V P*, id eſt, incrementum lineæ *B V* — *V P* ad incrementum lineæ curvæ *A P* in datâ ratione *C B* ad 2 *C E*, & propterea (*per corol. lem.* IV.) longitudines *B V* — *V P* & *A P*, incrementis ([b]) illis

(r) * *Id eſt ratio mutationum momentanearum*, ſeu incrementorum vel decrementorum naſcentium *curvæ A P*, quæ ex A m fit A P, *rectæ C P*, quæ ex C m fit C P *arcus circularis B P*, qui ex B o fit BP, *ac rectæ V P*, quæ ex V q, fit V P.

(ſ) * *Angulique H V G*, *V C F*, *propterea æquales*. Ob angulum V F C rectum, ſumma angulorum F C V, C V F æqualis eſt angulo recto C V H, quarè detracto communi angulo C V F, fit angulus F C V = F V H ſive H V G.

(t) * *Et angulus V H G &c.* Tangentes H V, H P cum radiis E V, E P angulos rectos conſtituunt, adeóque quadrilateri H V E P, anguli duo reliqui V H P ſive V H G & V E P, ſunt ſimul æquales duobus rectis, quarè cum ſint quoque anguli V E P, C E P ſimul duobus rectis æquales, liquet angulum C E P, æqualem eſſe angulo V H G, & in ſecunda figura cum anguli quadrilateri V H P E in V & P ſint recti, reliqui anguli V H P, V E P æquales ſunt duobus rectis, ſed etiam V H P & V H G ſunt æquales duobus rectis, ergo detracto communi V H P, V E P ſive C E P eſt æqualis V H G.

(u) * *Ad H V*, *ſeu H P*. Nam circuli tangentes H V, H P ſunt æquales.

(x) * *Et ità K I ad K P.* Etenim ob parallelas H K, G I, eſt H G : H P = K I : K P.

(y) * *Et compoſitè vel diviſim.* Cum ſit E P, ſeu B E : C E = K I : K P, ſi rota globo intrinſecus inſiſtat, erit compoſitè B E + C E, ſeu C P : C E = K I + K P; ſeu P I : P K. Si verò rota globo extrinſecus inſiſtat, erit diviſim C E — B E, ſeu C B : C E = K P — K I, ſeu P I : P K.

(z) * *Ità P I ad P V.* Nam in triangulo P H V iſoſcele, eſt P K = K V, adeóque 2 P K = P V.

(a) * *Eſt igitur decrementum lineæ V P &c.* Dum arcus A m creſcit fitque A P, recta V q decreſcit & fit V P; quarè eſt P m incrementum curvæ A m ſeu A P. & P q decrementum rectæ V P. Cum autem ſit B V circuli diameter conſtans, quantùm decreſcit V P, tantùm creſcit differentia B V — V P, undè decrementum lineæ V P, æquale eſt incremento lineæ B V — V P. *Eſt igitur incrementum lineæ B V — V P, ad incrementum lineæ curvæ A P &c.*

(b) * *Incrementis illis genitæ &c.* Cum punctum P eſt in A, punctum B eſt etiam in A, fitque V P = V B, adeòque B V — V P = 0. Simul ergò creſcere incipiunt lineæ B V — V P & A P, & quoniam in datâ ratione creſcunt, erit ſemper B V — V P ad A P in datâ illâ ratione C B ad : C E.

Digitized by Google

4 vel 2. vel $1\frac{1}{2}$ ad 1, ideoque $\frac{nn}{mm} - 3$ valeat $\frac{1}{64} - 3$ vel $\frac{1}{16} - 3$ vel $\frac{1}{4} - 3$ vel $\frac{4}{9} - 3$: erit vis ut $A^{\frac{1}{64} - 3}$ vel $A^{\frac{1}{16} - 3}$ vel $A^{\frac{1}{4} - 3}$ vel $A^{\frac{4}{9} - 3}$, id eſt, reciprocè ut $A^{3 - \frac{1}{64}}$ vel $A^{3 - \frac{1}{16}}$ vel $A^{3 - \frac{1}{4}}$ vel $A^{3 - \frac{4}{9}}$. Si corpus ſingulis revolutionibus redierit ad apſidem eandem immotam; erit m ad n ut 1 ad 1, ideoque $A^{\frac{nn}{mm} - 3}$ æqualis A^{-2} ſeu $\frac{1}{AA}$; & propterea decrementum virium in ratione duplicatâ altitudinis, ut (f) in præcedentibus demonſtratum eſt. Si corpus partibus revolutionis unius vel tribus quartis, vel duabus tertiis, vel unâ tertiâ, vel unâ quartâ, ad apſidem eandem redierit; erit m ad n ut $\frac{3}{4}$ vel $\frac{2}{3}$ vel $\frac{1}{3}$ vel $\frac{1}{4}$ ad 1, ideoque $A^{\frac{nn}{mm} - 3}$ æqualis $A^{\frac{16}{9} - 3}$ vel $A^{\frac{9}{4} - 3}$ vel $A^{9 - 3}$ vel $A^{16 - 3}$; & (g) propterea vis aut reciprocè ut $A^{\frac{11}{9}}$ vel $A^{\frac{3}{4}}$ aut directè ut A^{6} vel A^{13}. Denique ſi corpus pergendo ab apſide ſummâ ad apſidem ſummam confecerit revolutionem integram, & præterea gradus tres, ideoque apſis illa ſingulis corporis revolutionibus confecerit in conſequentia gradus tres; erit m ad n ut 363 *gr.* ad 360. *gr.* ſive ut 121 ad 120, (h) ideoque $A^{\frac{nn}{mm} - 3}$ erit

(f) * *Ut in præcedentibus demonſtratum eſt.* In hoc enim caſu corpus deſcribit ellipſim immotam circulo finitimam (*per cor.* 1. *prop.* XIII) intereadum æqualiter movetur in ellipſi ſimili & æquali circa umbilicum revolvente eum celeritate duplâ ejus quâ corpus idem in eâdem ellipſi mobili fertur (446).

(g) * *Et propterea vis aut reciprocè. Ut* $A^{\frac{11}{9}}$, *vel* $A^{\frac{3}{4}}$, *aut directè aut* A^{6}, *vel* A^{13}. Eſt enim $A^{\frac{16}{9} - 3} = A^{-\frac{11}{9}} = \frac{1}{A^{\frac{11}{9}}}$, & $A^{\frac{9}{4} - 3} = \frac{1}{A^{\frac{3}{4}}}$ & $A^{9 - 3} = A^{6}$ & $A^{16 - 3} = {}^{13}$.

(h) * *Ideóque* $A^{\frac{nn}{mm} - 3}$ *erit æquale* $A^{\frac{29523}{14641}}$. Erit enim in hâc hypotheſi $\frac{nn}{mm} = \frac{14400}{14641}$, & $\frac{nn}{mm} - 3 = \frac{14400}{14641} - 3 = \frac{29523}{14641}$. Eſt autem $\frac{29523}{14641} = 2 + \frac{241}{14641} = 2 + \frac{4}{243}$, proximè; nam $241 \times 243 = 58563$, & $4 \times 14641 = 58564$; decreſcit igitur vis centripeta in ratione paulò majore quam duplicatâ, ſed quæ vicibus $59\frac{3}{4}$, propiùs ad duplicatam quam ad triplicatam accedit,

erit æquale $A^{-\frac{29523}{14641}}$; & propterea vis centripeta reciprocè ut $A^{\frac{29523}{14641}}$ ſeu reciprocè ut $A^{2\frac{4}{243}}$ proximè. Decreſcit igitur vis centripeta in ratione paulo majore quam duplicatâ, ſed quæ vicibus $59\frac{3}{4}$ propius ad duplicatam quam ad triplicatam accedit.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XIV. Probl. XXXI.

Corol. 2. Hinc etiam ſi corpus, vi centripetâ quæ ſit reciprocè ut quadratum altitudinis, revolvatur in ellipſi umbilicum habente in centro virium, & huic vi centripetæ addatur vel auferatur vis alia quævis extranea; cognoſci poteſt (per exempla tertia) motus apſidum qui ex vi illâ extraneâ orietur: & contra. Ut ſi vis quâ corpus revolvitur in ellipſi ſit ut $\frac{1}{AA}$, & vis extranea ablata ut c A, ideoque vis reliqua ut $\frac{A - cA^4}{A\ cub.}$; erit (in exemplis tertiis) b æqualis 1, m æqualis 1, & n æqualis 4, ideoque angulus revolutionis inter apſides æqualis angulo graduum $180\sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$. (i) Ponamus vim illam extraneam eſſe 357. 45 partibus minorem quam vis altera quâ corpus revolvitur

dit, differentia enim inter 2, & $2+\frac{4}{243}$, eſt $\frac{4}{243}$, differentia verò inter 3 & $2+\frac{4}{243}$ eſt $1-\frac{4}{243}=\frac{239}{243}$. Porrò $\frac{239}{243}$ eſt ad $\frac{4}{243}$ ſeu 239 ad 4 ut $59\frac{3}{4}$ ad 1.

(i) * *Ponamus eſſe* $c \times A$ ad $\frac{1}{AA}$, hoc eſt, ponendo A vel T = 1, c ad 1, ut 100 ad 35745, id eſt, ut 1 ad 357, 45, & erit $c=\frac{100}{35745}$, $1-c=\frac{35645}{35745}$, $1-4c=\frac{35345}{35745}$; undè $\frac{1-c}{1-4c}=\frac{35645}{35345}$, & hinc $180\times\sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}=180\times\sqrt{\frac{35645}{35345}}$ &c.

454. Scholium. *Hermannus* in ſcholio ad *prop.* 25. *lib.* 1. *Phoronomiæ* formulam invenit quâ ex datâ vi centripetâ motus apſidum determinatur, & contrà; hanc ipſam ex priùs oſtenſis hic demonſtrabimus. Iiſdem igitur poſitis quæ in not. 449, ſit vis centripeta in ellipſeos mobilis loco quovis p, ſeu (451) vis $\frac{VFFA+VRGG-VRFF}{A^3}=\frac{y}{A^3}=\frac{y}{z^3}$, ponendo altitudinem $A=z$, & erit (450) $=VFFz+VRGG-VRFF$; capiantur utrinque fluxiones & invenietur $dy=VFFdz$, & faciendo $Qdz=dy$, erit $Q=VFF$. Loco VFF, ipſius valor Q ſubſtituatur in ſuperiori æquatione, & erit $y=Qz+\frac{QRGG-QRFF}{FF}=Qz-QR+\frac{QRGG}{FF}$.

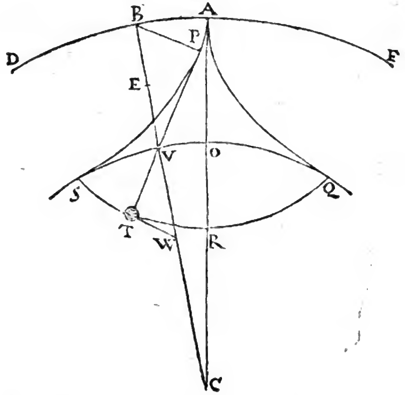
Jam

Digitized by Google

PROPOSITIO L. PROBLEMA XXXIII.

Facere ut corpus pendulum oſcilletur in cycloide datâ.

Intra globum *Q V S*, centro *C* deſcriptum, detur cyclois *Q R S* biſecta in *R* & punctis ſuis extremis *Q* & *S* ſuperficiei globi hinc inde occurrens. Agatur *C R* biſecans arcum *Q S*



in *O*, & producatur ea ad *A*, ut ſit *C A* ad *C O* ut *C O* ad *C R*. Centro *C* intervallo *C A* deſcribatur globus exterior *D A F*, & intra hunc globum à rotâ, cujus diameter ſit *A O*, deſcribantur duæ ſemicycloides *A Q*, *A S*, quæ (f) globum in-

(f) * *Quæ globum interiorem tangant in Q & S, & globo exteriori occurrant in A.* Probandum ſemicycloides deſcriptas per motum rotæ (cujus diameter eſt A O) ex A proficiſcentis terminari ad ſuperficiem globi interioris in punctis extremis Q & S cycloidis Q R S datæ. Producantur itaque lineæ C Q, C S ad F & D, eritque F Q = D S = A O, & ſuper Diametros F Q, D S intelligantur deſcriptæ rotæ quarum motu fiunt ſemicycloides, dicaturque *P* punctum rotæ ſemicy-

teriorem tangant in *Q* & *S* & globo exteriori occurrant in *A*. A puncto illo *A*, filo *APT* longitudinem *AR* æquante, pendeat corpus *T*, & ita intra ſemicycloides *AQ*, *AS* oſcilletur, ut quoties pendulum digreditur à perpendiculo *AR*, filum parte ſui ſuperiore *AP* applicetur ad ſemicycloidem illam *APS* verſus quam peragitur motus, & circum eam ceu obſtaculum flectatur, parteque reliquâ *PT* cui ſemicyclois nondum objicitur, protendatur in lineam rectam; & pondus *T* oſcillabitur in cycloide datâ *QRS*. *Q. E. F.*

Occurrat enim filum *PT* tum cycloidi *QRS* in *T*, tum circulo *QOS* in *V*, agaturque *CV*; & ad fili partem rectam *PT*, è punctis extremis *P* ac *T*, erigantur perpendicula *BP*, *TW*, occurrentia rectæ *CV* in *B* & *W*. Patet, (g) ex conſtructione & geneſi ſimilium figurarum *AS*, *SR*, (h) perpendicula illa *PB*, *TW* abſcindere de *CV* longitudines *VB*, *VW* rotarum

cycloides deſcribens; Liquet arcûs O Q & A F, O S & A D eſſe proportionales radiis C O, C A ſive (*per conſt.*) radiis C R, C O & diviſim rotarum Diametris O R, A O, ideoque (per nat. circuli) ſemicircumferentiis rotarum ſuper has Diametros deſcriptarum; Sed cum Q & S ſint puncta extrema cycloidis datæ Q R S & C O arcum Q S biſecet, erunt arcus O Q & O S æquales ſemicircumferentiæ rotæ ſuper Diametrum O R deſcriptæ (460) ergo etiam arcus A F & A D æquales erunt ſemicircumferentiæ rotæ ſuper Diametrum A O deſcriptæ, ſed arcus F P aut D P eſt ſemper æqualis arcui A F aut A D (460); erunt ergo arcus F P & D P ſemicirculi, & P cadet in extremitatibus Q & S. Diametrorum F Q, D S, ſed ubi P ſemicircumferentiam rotæ percurrit ſemicyclois eſt deſcripta, ergo ſemicycloides deſcritæ per motum rotæ ex A proficiſcentis terminantur in Q & S. Q. E. D.

(g) 463. *Patet ex conſtructione & geneſi ſimilium figurarum A S, S R*; Figuræ illæ dicuntur ſimiles quia A O diameter rotæ quâ deſcribuntur ſemicycloides A S, A Q eſt ad globi D A F radium A C ut diameter O R rotæ quâ deſcribitur cyclois Q R S ad globi Q O S radium O C, (*per conſtr.*) unde manifeſtum quod cycloides A S, A Q, Q R, quæ eodem modo deſcribuntur ac determinantur ſunt inter ſe ſimiles.

(h) * ***Perpendicula illa*** &c. 1°. Probandum quod *perpendiculum P B abſcindat de C V longitudinem V B rotæ Diametro O A æqualem*. Fingatur rotam ita poſitam ut ejus punctum Cycloidem deſcribens ſit in P, liquet, ex conſtructione, eam hujus rotæ Diametrum quæ in hoc caſu globo eſt perpendicularis, & quæ, ſi producatur, tranſire debet per centrum C, utrinque terminari debere in ſuperficie globorum; Jam verò (*per Demonſtr. Prop.* XLVIII. XLIX) Tangens Cycloidis tranſit ſemper per unam extremitatem ejus Diametri rotæ quæ globo eſt perpendicularis & perpendiculum in Tangentem è puncto contactus erectum tranſit per alteram ejuſdem Diametri extremitatem, ergo, cum ſit (*ex conſt.*) filum P T Tangens Cycloidis in puncto P, & P B perpendiculum in illud, interſectiones V & B linearum P T & P B cum globis Q O S & D A F erunt extremitates ejus Diametri rotæ quæ ſi producatur tranſit per centrum C, ergo ducta C V,

 per-

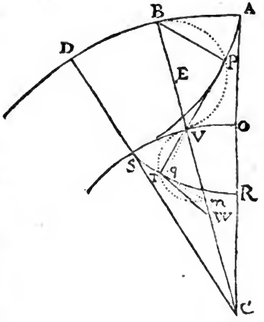
Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. L. Probl. XXXIII.

tarum diametris *O A*, *O R* æquales. Eſt (i) igitur *T P* ad *V P* (duplum ſinum anguli *V B P* exiſtente ½ *B V* radio) ut *perpendiculum P B abſcindet de C V longitudinem V B rotæ Diametro O A æqualem.* Q. E. 1°. D.

2°. *Perpendiculum T W abſcindit de C V longitudinem V W rotæ diametro O R æqualem.* Fingatur rota Cycloidem S R Q deſcribens ita poſita, ut ejus Diameter globo S O Q inſiſtens ſit in lineâ C V globumque tangat in V, dicatur m altera extremitas ejus Diametri, & dicatur q punctum illius rotæ Cycloidem deſcribens: Arcus V S erit æqualis arcui V q (460) utque totus arcus S O eſt æqualis arcui V m, erit V O = q m, & q m eſt menſura dupli anguli C V q; Sit verò rota deſcribens cycloidem A P S poſita ſicut in priore caſu, hoc eſt, ejus Diameter globo D A F inſiſtens ſit in productione lineæ C V, erit arcus B A æqualis arcui B P (460) & eſt B P menſura dupli anguli B V P; Eſt autem arcus V O ſive q m ad B A ſive B P, ut C O ad C A ideoque ut Diametri rotarum O R ad A O (ex conſt.), arcûs verò diverſorum circulorum qui ſunt inter ſe ut ſuorum circulorum Diametri, ſunt ſimiles ideoque ejuſdem numeri graduum; ergo angulus C V q eſt æqualis angulo B V P, quoniam arcus qui ſunt menſura eorum dupli, ſunt ejuſdem numeri graduum, ideoque illi anguli C V q, B V P ſunt per verticem oppoſiti & P V q eſt linea recta; itaque, filum P V productum ad T tranſit tàm per extremitatem V Diametri rotæ globo inſiſtentis quàm per ejus rotæ punctum q Cycloidem deſcribens; Ergo (*per Dem. Prop.* XLVIII. XLIX.) filum P T eſt perpendiculare in Tangentem Cycloidis in puncto illo q ſive T, ideoque ex conſtructione linea T W erit ea ipſa Tangens, & (*per Dem. Prop.* XLVIII. XLIX.) tranſibit per extremitatem m Diametri rotæ quæ globo inſiſtit, hoc eſt Diametri jacentis in linea C V, *ergo T W abſcindet de C V longitudinem rotæ Diametro O R æqualem.* Q. E. 2°. D.

* *Idem aliter.* Ex puncto V ducatur ad ſemicycloidem S R perpendicularis V q, & q m tangens in q radio C V occurrens in m, erit (459) V m = O R. Deſcriptis rotis B P V, V q m,

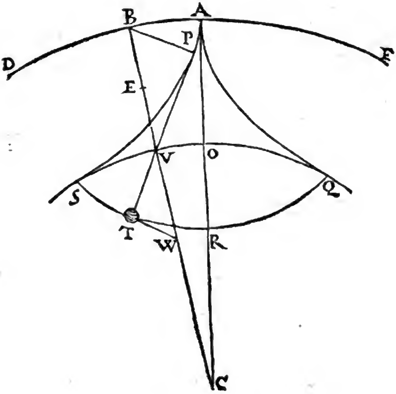


erit angulus B V P, æqualis arcui B P, ad diametrum B V, applicato ſeu $= \frac{BP}{BV}$, hoc eſt, ob arcum B A = B P (460) & B V = A O, angulus B V P $= \frac{BA}{AO}$. Simili ratione, cum ſit arcus V q æqualis arcui S V, & ſemirota V q m æqualis arcui S O, erit arcus q m = V O, adeóque angulus q V m $= \frac{VO}{OR}$. Quarè angulus B V P : q V m $= \frac{BA}{AO} : \frac{VO}{OR} = OR \times BA : AO \times VO$; ſed B A : V O = C A : C O = A O : O R (*per conſtr.*) adeóque O R × B A = A O × V O, Ergò angulus B V P = q V m. Cùm igitur anguli B V P, T V W ad verticem oppoſiti ſint etiam æquales, perpendicularis V q coincidit cum V T, tangens q m cum T W, & V m cum V W, undè tandem eſt V m = O R = V W.

(i) * *Eſt igitur &c.* Ob triangula VPB, V T W ſimilia T V : V P = V W : V B, & componendo T P : V P = B W : B V.

Digitized by Google

BW ad BV, ſeu $AO+OR$ ad AO, id eſt (cum ſint CA ad CO, CO ad CR & diviſim AO ad OR proportionales) ut $CA+CO$ ad CA, vel, ſi biſecetur BV in E, ut $2\ CE$ ad CB. Proinde (*per corol.* 1. *prop.* XLIX.) longitudo partis rectæ fili PT æquatur ſemper cycloidis arcui PS, & filum totum APT æquatur ſemper cycloidis arcui dimidio APS, hoc eſt

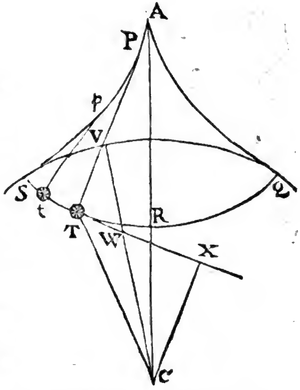


(*per corol.* 2. *prop.* XLIX.) longitudini AR. Et propterea viciſſim ſi filum manet ſemper æquale longitudini AR movebitur punctum T in cycloide datâ QRS. *Q. E. D.*

Corol. Filum AR æquatur ſemicycloidi AS, ideoque ad globi exterioris ſemidiametrum AC eandem habet rationem quam ſimilis illi ſemicyclois SR habet ad globi interioris ſemidiametrum CO.

PROPOSITIO LI. THEOREMA XVIII.

Si vis centripeta tendens undique ad globi centrum C *ſit in locis ſingulis ut diſtantia loci cujuſque à centro, & hâc ſolâ vi agente corpus* T *oſcilletur* (*modo jam deſcripto*) *in perimetro cycloidis* Q R S: *dico quod oſcillationum utcunque inæqualium æqualia erunt tempora.*



Nam in cycloidis tangentem *T W* infinitè productam cadat perpendiculum *CX* & jungatur *CT*. Quoniam vis centripeta quâ corpus *T* impellitur verſus *C* eſt ut diſtantia *CT*, atque hæc (*per legum corol.* 2.) reſolvitur in partes *CX*, *TX*, quarum *CX* impellendo corpus directè à *P* diſtendit filum *PT* & per ejus reſiſtentiam tota ceſſat, nullum alium edens effectum; pars autem altera *TX*, urgendo corpus tranſverſim ſeu verſus *X* directè accelerat motum ejus in cycloide; manifeſtum eſt quod corporis acceleratio, huic vi acceleratrici proportionalis, ſit ſingulis momentis ut longitudo *TX*, id (l) eſt, ob datas *CV*, *WV* iiſque proportionales *TX*, *TW*, ut longitudo *TW*, hoc eſt (*per corol.* 1. *prop.* XLIX.) ut longitudo arcus cycloidis *TR*. Pendulis igitur duobus *APT*, *Apt* de perpendiculo *AR* inæqualiter deductis & ſimul dimiſſis, accelerationes eorum ſemper erunt ut arcus deſcribendi *TR*, *tR*. Sunt (m) autem partes ſub

(l) * *Id eſt ob datas.* Ob triangula W X C, W T V ſimilia, eſt C W : W V = W X : T W, & componendo C V : W V = T X : T W; quarè ob datas C V, W V, data eſt ratio T X ad T W, id eſt T X eſt ut T W.

(m) 464. *Sunt autem* arcuum t R, T R partes ſub initio eodem tempuſculo deſcriptæ ut accelerationes, hoc eſt, ut toti arcus t R, T R ſub initio deſcribendi & propterea diviſim, partes arcuum

initio deſcriptæ ut accelerationes, hoc eſt, ut totæ ſub initio deſcribendæ, & propterea partes quæ manent deſcribendæ & accelerationes ſubſequentes, his partibus proportionales, ſunt etiam ut totæ; & ſic deinceps. Sunt igitur accelerationes, atque ideo velocitates genitæ & partes his velocitatibus deſcriptæ parteſque deſcribendæ, ſemper ut totæ; & propterea partes deſcribendæ datam ſervantes rationem ad invicem ſimul evaneſcent, id eſt, corpora duo oſcillantia ſimul pervenient ad perpendiculum *A R*. Cumque viciſſim aſcenſus perpendiculorum de loco infimo *R*, per eoſdem arcus cycloidales motu retrogrado facti, retardentur in locis ſingulis à viribus iiſdem à quibus deſcenſus accelerabantur, patet velocitates aſcenſuum ac deſcenſuum per eoſdem arcus factorum æquales eſſe, atque ideo temporibus æqualibus fieri, & propterea, cum cycloidis partes duæ *R S* & *R Q* ad utrumque perpendiculi latus jacentes ſint ſimiles & æquales, pendula duo oſcillationes ſuas tam totas quam dimidias iiſdem temporibus ſemper peragent. *Q. E. D.*

Corol. Vis (n) quâ corpus *T* in loco quovis *T* acceleratur vel retardatur in cycloide, eſt ad totum corporis ejuſdem pondus in loco

cuum t R, T R quæ manent deſcribendæ & accelerationes ſubſequentes his partibus proportionales ſunt etiam ut toti arcus t R, T R, & ſic deinceps. Quoniam autem velocitates dato tempore genitæ ſunt ut accelerationum ſummæ, quæ ob datam accelerationum rationem ſunt in eâdem ratione datâ arcuum t R, T R, liquet accelerationes atque ideò velocitates genitas & partes his velocitatibus deſcriptas, parteſque deſcribendas ſemper eſſe ut ſunt toti arcus t R, T R, & propterea ſi pars arcûs T R deſcribenda evaneſcat, quod fit dum corpus pendulum T pervenit ad R, pars arcûs t R, ſimul evaneſcet, ob datam harum partium rationem. Undè corpora duo oſcillantia t & T ex punctis t & T ſimul demiſſa, ſimul pervenient in R.

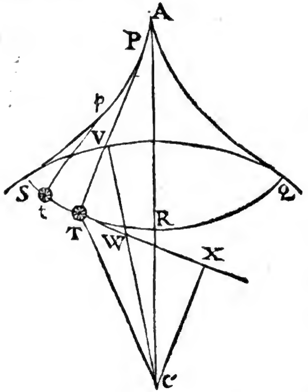
(n) * *Vis quâ corpus* T in loco quovis T acceleratur vel retardatur in cycloide, eſt ad vim quâ in loco altiſſimo S, vel Q acceleratur vel retardatur in cycloide, ut arcus T R, ad arcum S R, (ex demonſtr. prop. 51. (ſed vis quâ corpus in loco S vel Q acceleratur vel retardatur in cycloide, eſt vis tota quâ ad centrum C, perpendiculariter urgetur; radius enim C S cycloidem S R tangit in S, (458) adeóque directio vis in loco S in cycloide coincidit cum directione vis rectà trahentis ad centrum C.

465. *Coroll.* 1. Si centro A radio A R *circulus deſcribatur*, cycloidis S R Q arcus naſcens in loco infimo R cum circuli illius arcu naſcente coincidit. Quare ſi longitudo penduli A R magna ſit, eodem prope modo in exiguis circuli arcubus

Digitized by Google

loco altiſſimo S vel Q, ut cycloidis arcus TR ad ejuſdem arcum SR vel QR.

PRO-

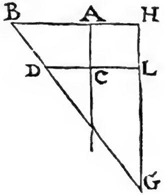


cubus oſcillabitur corpus quo in cycloide, & quò major eſt longitudo penduli minorque circuli arcus in quem excurrit, eò major erit motuum in circulo & in cycloide conſonantia, atque hinc, non abludente experientiâ, oſcillationes in exiguis circuli arcubus ſunt ad ſenſum iſochronæ.

466. *Coroll.* 2. Ex his deducitur quænam ſit æquatio ad hanc Cycloidem intrà globum deſcriptam pertinens, ſive, invenietur æquatio exprimens rationem diſtantiæ cujuſvis puncti T à centro ad perpendiculum in Tangentem ex eo puncto ductam demiſſum: Dicatur enim globi radius C V, a, Diameter rotæ V W, $a-c$, erit diſtantia C R ſive C W, c; Ducatur ex puncto quovis T linea T C ad centrum quæ dicatur x, ducatur Tangens T X ex eo puncto T & ex centro demittatur in eam Tangentem perpendiculum C X, ſit T X $= z$ & C X $= p$. Erit ubique $pp = \frac{aacc - ccxx}{aa - cc}$; Nam ob ſimilia Triangula V T W, W C X eſt

$CW(c):VW(a-c)=CX(p):TV = \frac{p}{c}\times\overline{a-c}$ & $CV(a):WV(a-c)=TX(z):TW = \frac{z}{a}\times\overline{a-c}$; eſt itaque $TV^2+TW^2 = \frac{p^2}{c^2}\times\overline{a-c}^2+\frac{z^2}{a^2}\times\overline{a-c}^2$. Sed $TV^2+TW^2=VW^2=\overline{a-c}^2$, ergo $\frac{p^2}{c^2}\times\overline{a-c}^2+\frac{z^2}{a^2}\times\overline{a-c}^2=\overline{a-c}^2$ & dividendo utrumque membrum æquationis per $\overline{a-c}^2$ erit $\frac{p^2}{c^2}+\frac{z^2}{a^2}$ (ſive $\frac{a^2c^2+c^2z^2}{a^2c^2}$) $=1$, & multiplicato utroque membro æq. per a^2c^2 eſt $a^2p^2+c^2z^2=a^2c^2$, ſed eſt $z^2=x^2-p^2$ (per conſt.) Ergo $a^2p^2+c^2x^2-c^2p^2=a^2c^2$ & factâ tranſpoſitione $a^2p^2-c^2p^2=a^2c^2-c^2x^2$, ideoque $p^2 = \frac{a^2c^2-c^2x^2}{a^2-c^2}$. Q. E. D.

Simili ratiocinio invenietur æquatio ad epicycloidem ſive cycloidem extra globum deſcriptam inverſis ſolummodo terminis & ſignis ut ſit $pp=\frac{c^2x^2-a^2c^2}{c^2-a^2}$.



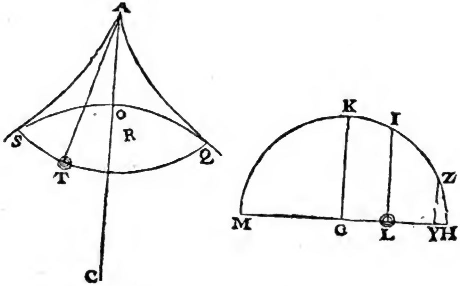
467. *Lemma.* Ad punctum G tendat vis centripeta diſtantiæ ab illo puncto proportionalis quam in locis H, L exhibeant lineæ H B, L D rectæ G H perpendiculares, ſitque recta G D B locus punctorum B, D, capiatur H A ad H B ut vis centripeta conſtans ad vim variabilem in loco

Digitized by Google

PROPOSITIO LII. PROBLEMA XXXIV.

Definire & velocitates pendulorum in locis ſingulis, & tempora quibus tum oſcillationes totæ, tum ſingulæ oſcillationum partes peraguntur.

Centro quovis *G*, intervallo *G H* cycloidis arcum *RS* æquan-



te, deſcribe ſemicirculum *HKM* ſemidiametro *GK* biſectum. Et ſi vis centripeta, diſtantiis locorum à centro proportionalis, tendat ad centrum *G*, ſitque ea in perimetro *HIK* æqualis vi centripetæ in perimetro globi *QOS* ad ipſius centrum tendenti; & (°) eodem tempore quo pendulum *T* dimittitur è loco

co dato H, & agatur A C rectæ H G parallela lineam L D ſecans in C, de loco H cadant corpora duo, quorum alterum vi conſtante H A, alterum vi variabili H B vel L D urgeatur, ſintque illorum velocitates in eodem loco L, V, v, & erit V^2 ad v^2, ut area H A C L ad aream H B D L, (*per prop.* 39. *& not.* 408.) id eſt $V^2 : v^2 = HL \times HA : HL \times \frac{BH + DL}{2} = 2HA : BH + DL$. Et quoniam in centro G evaneſcit D L erit in illo centro $V^2 : v^2 = 2HA : BH$, & $V : v = \sqrt{2HA} : \sqrt{BH}$. Quarè datis in loco H viribus H A, H B, & velocitate in loco quovis L vel G vi conſtante acquiſitâ, datur velocitas vi variabili in eodem loco acquiſita.

(o) * *Et eodem tempore.* Id eſt, ſimul demittantur ex locis S & H corpora T & L.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LII. PROBL. XXXIV.

loco ſupremo *S*, cadat corpus aliquod *L* ab *H* ad *G*: quoniam vires quibus corpora urgentur ſunt æquales ſub initio & ſpatiis deſcribendis *TR*, *LG* ſemper proportionales, atque ideo, ſi æquantur *TR* & *LG*, æquales in locis *T* & *L*; patet corpora illa deſcribere ſpatia *ST*, *HL* æqualia ſub initio, (p) ideoque ſubinde pergere æqualiter urgeri, & æqualia ſpatia deſcribere. Quare (*per prop.* XXXVIII.) tempus quo corpus deſcribit arcum *ST* eſt ad tempus oſcillationis unius, ut arcus *HI*, tempus quo corpus *H* perveniet ad *L*, ad ſemiperipheriam *HKM*, tempus quo corpus *H* perveniet ad *M*. Et velocitas corporis penduli in loco *T* eſt ad velocitatem ipſius in loco infimo *R*, (hoc eſt, velocitas corporis *H* in loco *L* ad velocitatem ejus in loco *G*, ſeu (q) incrementum momentaneum lineæ *HL* ad incrementum momentaneum lineæ *HG*, arcubus *HI*, *HK* æquabili fluxu creſcentibus) ut ordinatim applicata *LI* ad radium *GK*, ſive ut (r) $\sqrt{SRq. - TRq.}$ ad *SR*. Unde (ſ) cùm, in oſcillationibus inæqualibus, deſcribantur æqualibus temporibus

(p) * *Ideóque ſubindè pergere æqualiter urgeri & æqualia ſpatia* iiſdem nempe temporibus *deſcribere*.

(q) * *Seu incrementum momentaneum &c.* Nam incrementa illa ſunt ſpatia eodem tempuſculo uniformiter deſcripta, quæ proinde ſunt ut velocitates in locis L & G, quibus deſcribuntur, arcus autem HI, HK quæ tempora exhibent, creſcunt ut tempora, hoc eſt, æquabili fluxu.

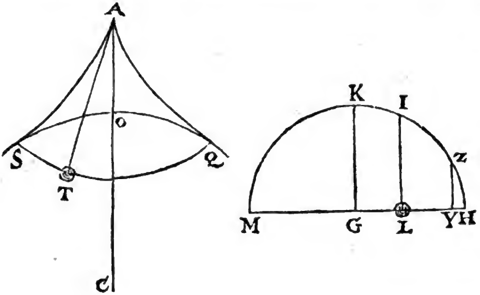
(r) *Sivè ut* $\sqrt{SR^2 - TR^2}$ *ad* SR. Eſt enim, ex naturâ circuli $LI^2 = ML \times LH = GH^2 - GL^2 = SR^2 - TR^2$, adeóque $LI = \sqrt{SR^2 - TR^2}$, & $LI : GK = \sqrt{SR^2 - TR^2} : GK$, ſeu SR.

(ſ) 468. *Undè cùm &c.* Datâ vi centripetâ in perimetro globi QOS vel in H datur tum velocitas quâ corpus hâc vi ſollicitatum deſcribit circulum HKM, tum tempus quo ſemiperipheriam HKM percurrit (201) hoc eſt, tempus unius oſcillationis integræ; & contrà, Dato tempore unius oſcillationis integræ, datur vis centripeta in H vel S (202). Porrò dato arcu ST, vel rectâ æquali HL, datur LI ſinus arcus HI, & hinc datur hic arcus, adeòque & ratio HI, ad HKM, id eſt, ratio temporis quo percurritur HL vel ST ad tempus datum oſcillationis integræ. Et contrà dato tempore quo deſcribitur HL vel ST, datur arcus HI, & hinc datur illius ſinus rectus LI ſinuſque verſus HL vel arcus ST. Datâ vi centripetâ in S vel H, datur velocitas corporis de loco S vel H in R vel G pervenientis (467); hinc verò datur velocitas corporis in loco quovis dato T vel L; cum (*ex demonſtr.*) velocitas in R vel G, ſit ad velocitatem in T vel L, ut GK ad LI, ſeu ut SR ad $\sqrt{SR^2 - TR^2}$. Dato tempore quo deſcribitur ST vel HL, datur arcus HI, & illius ſinus rectus LI, adeóque & velocitas in L & contrà.

Si

Digitized by Google

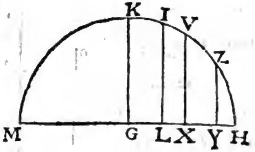
bus arcus totis oſcillationum arcubus proportionales; habentur, ex datis temporibus, & velocitates & arcus deſcripti in oſcilla-



tionibus univerſis. Quæ erant primò invenienda.

Oſcillentur jam funipendula corpora in cycloidibus diverſis intra globos diverſos, quorum (t) diverſæ ſunt etiam vires abſolutæ, deſcriptis: &, ſi vis abſoluta globi cujuſvis QOS dicatur

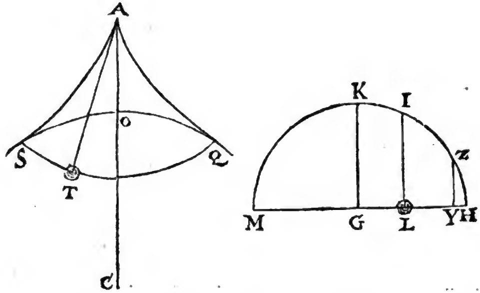
Si corpus non ex ſummo loco S, vel H, ſed ex alio quovis t, (vid. fig. prop. 51.) vel Y, demittatur, erit tempus quo ex loco t pervenit ad R, vel ex Y ad G, æquale tempori dato dimidiæ oſcillationis. Hinc dato arcu T t, vel rectâ æquali Y L, dabitur & tempus quo deſcribitur & velocitas in T vel L, ac contrà. Nam cum ſint arcus ſeu ſpatia quævis æqualibus temporibus deſcripta in oſcillationibus inæqualibus, ut arcus vel ſpatia integris oſcillationibus percurſa (464), dato arcu T t, vel ſpatio Y L, dabitur ſpatium H X, quod corpus de loco H demiſſum deſcribit eodem tempore quo aliud corpus percurrit T t vel Y L; dato ſpatio H X, datur arcus H V & illius ſinus rectus X V, & hinc datur tempus quo deſcribitur H X & Y L, & velocitas in X; cumque ſit velocitas in



X; in corpore de loco H, cadente ad velocitatem in L, in corpore de loco Y cadente ut H G, ad Y G (464) dabitur velocitas in L, vel T; Et contrà.

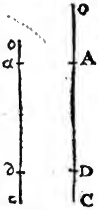
(t) 469. *Quorum diverſæ ſunt &c.* Ex centris C, c, per omne circumquaque ſpatium

catur V, vis acceleratrix quâ pendulum urgetur in circumferentiâ hujus globi, ubi incipit directè versùs centrum ejus moveri, erit ut diſtantia corporis penduli à centro illo & vis ab-



ſoluta globi conjunctim, hoc eſt, ut $CO \times V$. Itaque (u) lineola HY, quæ ſit ut hæc vis acceleratrix $CO \times V$, deſcribetur dato tempore; &, ſi (x) erigatur normalis YZ circumferen-

diffundi intelligantur vires centripetæ in ratione diſtantiarum à ſuis reſpectivè centris creſcentes, vires acceleratrices in locis datis æquè altis A, a, dicantur A, a; in aliis locis æquè altis D, d, dicantur V, u, & erit (*ex hyp.*) V : A = CD : CA = cd : ca = v : a, adeóque V : v = A : a, ſed evaneſcentibus diſtantiis, CD, cd, ſunt V, v, vires abſolutæ (per definitionem VI. *Newt.*) quarè vires abſolutæ ſunt in ratione virium acceleratricium in locis æquè altis. Jam verò vires acceleratrices in locis quibuſlibet O, o, dicantur B, b, erit (*ex Dem.*)



V : v = A : a

Et per hyp. CO : CA = B : A

CA vel ca : Co = a : b

Ergò ex æquo V × CO : v × Co = B : b, id eſt, vis acceleratrix in loco quovis O, eſt ut diſtantia à centro & vis abſoluta conjunctim.

(u) * *Itaque lineola naſcens HY, quæ ſit ut hæc vis acceleratrix CO × V, deſcribetur dato tempore.* Nam quadratum temporis quo deſcribitur naſcens HY, eſt ut $\frac{HY}{CO \times V}$ (*per cor. V. lem. X.*) Undè cum data ſit ratio HY ad CO × V (*ex hyp.*), quadratum temporis adeóque & tempus ipſum quo deſcribitur HY datum erit.

(x) * *Et ſi erigatur normalis &c.* Arcus HZ erit ad ſemiperipheriam HKM, ut tempus datum quo deſcribitur HY, ad tempus unius oſcillationis (*prop. 38.*) quod proinde erit ut ſemiperipheria HKM, ſeu ut radius GH directè, & arcus HZ inversè. Eſt autem arcus naſcens HZ æqualis chordæ HZ (*per Lem. 7.*) adeóque (ex naturâ circuli) $HZ^2 = HY \times MH = 2\,GH \times HY$; Quarè cùm ſit HY ut

Prop. LII. Probl. XXXIV.

tiæ occurrens in *Z*, arcus naſcens *HZ* denotabit datum illud tempus. Eſt autem arcus hic naſcens *HZ* in ſubduplicatâ ratione rectanguli *GHY*, ideoque $\sqrt{GH \times CO \times V}$. Unde tempus oſcillationis integræ in cycloide *QRS* (cum ſit ut ſemiperipheria *HKM*, quæ oſcillationem illam integram denotat, directè; utque arcus *HZ*, qui datum tempus ſimiliter denotat, inversè) fiet ut *GH* directè & $\sqrt{GH \times CO \times V}$ inversè, hoc eſt, ob æquales *GH* & *SR*, ut $\sqrt{\frac{SR}{CO \times V}}$, ſive (*per corol. prop.* L.) ut $\sqrt{\frac{AR}{AC \times V}}$. Itaque oſcillationes in globis & cycloidibus omnibus, quibuſcunque cum viribus abſolutis factæ, ſunt in ratione quæ componitur ex ſubduplicatâ ratione longitudinis fili directè, & ſubduplicatâ ratione diſtantiæ inter punctum ſuſpenſionis & centrum globi inversè, & ſubduplicatâ ratione vis abſolutæ globi etiam inversè. *Q. E. I.*

Corol. 1. Hinc etiam oſcillantium, cadentium & revolventium corporum tempora poſſunt inter ſe conferri. Nam ſi rotæ, quâ cyclois integra globum deſcribitur, diameter conſtituatur æqualis ſemidiametro globi cyclois (y) evadet linea recta per centrum globi tranſiens, & oſcillatio jam erit deſcenſus & ſubſequens aſcenſus in hâc rectâ. Unde datur tum tempus deſcenſus de loco quovis ad centrum, tum tempus huic æquale quo corpus uniformiter circa centrum globi ad diſtantiam quamvis revolvendo arcum quadrantalem deſcribit. Eſt (z) enim hoc tempus (per caſum ſecundum) ad tempus ſemioſcillationis in cycloide quâvis *QRS* ut 1 ad $\sqrt{\frac{AR}{AC}}$.

Co-

$CO \times V$, erit HZ^2 ut $2\,GH \times CO \times V$, ſeu, ut $GH \times CO \times V$; & hinc tempus unius oſcillationis ut $\frac{GH}{\sqrt{GH \times CO \times V}} = \sqrt{\frac{GH}{CO \times V}} = \sqrt{\frac{SR}{CO \times V}} = \sqrt{\frac{AR}{AC \times V}}$ ob $GH = SR$, & $\frac{AR}{AC} = \frac{SR}{CO}$, (*per cor. prop.* 50.)

(y) * *Cyclois evadet linea recta* (461).

(z) * *Eſt enim hoc tempus &c.* Quoniam cycloide QRS in rectam mutatâ fit AR = AC, erit (*per caſ.* 2.) tum tempus deſcenſus de loco quovis ad centrum, tum tempus huic æquale (*prop.* 38.) per circuli quadrantem ut $\sqrt{\frac{1}{V}}$. Undè erit

hoc

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LII. PROBL. XXXIV.

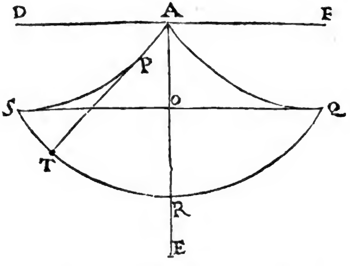
Corol. 2. Hinc etiam conſectantur quæ *Wrennus* & *Hugenius* de cycloide vulgari adinvenerunt. Nam ([a]) ſi globi diameter augeatur in infinitum: mutabitur ejus ſuperficies ſphærica in planum; viſque ([b]) centripeta aget uniformiter ſecundum lineas huic plano perpendiculares, & cyclois noſtra abibit in cycloidem vulgi. Iſto ([c]) autem in caſu longitudo arcus cycloidis, inter planum illud & punctum deſcribens, æqualis evadet quadruplicato ſinui verſo dimidii arcus rotæ inter idem inter planum & punctum deſcribens; ut invenit *Wrennus*; Et ([d]) pendulum inter duas ejuſmodi cycloides in ſimili & æquali cycloide temporibus

hoc tempus ad tempus ſemioſcillationis in cycloide quâvis Q R S in rectam non mutatâ ut $\sqrt{\frac{1}{V}}$ ad $\sqrt{\frac{AR}{AC \times V}}$, hoc eſt, ob datam V, ut 1 ad $\sqrt{\frac{AR}{AC}}$. Quarè dato tempore unius oſcillationis in cycloide quâvis Q R S circa centrum C, dabitur tempus deſcenſus de loco quovis ad idem centrum, & tempus huic æquale per quadrantem circuli ad quamvis diſtantiam deſcripti.

(a) * *Nam ſi globi diameter augeatur* (462).

(b) * *Viſque* centripeta diſtantiæ infinitæ (quæ proinde non mutatur) proportionalis non mutabitur, & quoniam centro in infinitum abeunte, radii qui antè erant ad ſuperficiem ſphæricam perperpendiculares fiunt paralleli; vis centripeta aget uniformiter ſecundùm lineas huic ſuperficiei in planum mutatæ perpendiculares.

(c) * *Iſto autem in caſu* (462).



(d) * *Et pendulum inter duas &c.* Erit enim in hoc caſu diameter rotæ O R quâ deſcribitur cyclois Q R S, æqualis diametro A O rotæ quâ deſcribitur cyclois A P S (462.), quare ſemicycloides S R, A S ſimiles erunt & æquales.

Digitized by Google

ribus æqualibus oſcillabitur, ut demonſtravit *Hugenius*. Sed (e) & deſcenſus gravium, tempore oſcillationis unius, is erit quem *Hugenius* indicavit.

Aptantur autem propoſitiones à nobis demonſtratæ ad veram conſtitutionem terræ, quatenus rotæ eundo in ejus circulis maximis deſcribunt motu clavorum, perimetris ſuis infixorum, cycloides extra globum; & pendula inferius in fodinis & cavernis terræ ſuſpenſa, in cycloidibus intra globos oſcillari debent, ut oſcillationes omnes evadant iſochronæ. Nam gravitas (ut in libro tertio docebitur) decreſcit in progreſſu à ſuperficie terræ, ſurſum quidem in duplicatâ ratione diſtantiarum à centro ejus, deorſum vero in ratione ſimplici.

PRO-

470. (e) * *Sed & deſcenſus &c.* Erit in hoc caſu tempus unius oſcillationis ad tempus deſcensûs perpendicularis per diametrum rotæ A O vel O R, ſeu per dimidiam penduli longitudinem ut peripheria circuli ad ejus diametrum. Nam iiſdem poſitis quæ (in *prop.* 52. & ejus *cor.* 2°.) erit tempus unius oſcillationis æquale tempori ſemirevolutionis in circulo H K M (*prop.* 38.). Eſt autem (200.) tempus ſemirevolutionis in circulo H K M, ad tempus deſcenſûs uniformiter accelerati per dimidium radium H G, ut peripheria circuli ad diametrum. Quarè cum ſit $\frac{1}{2}$ H G $=$ $\frac{1}{2}$ S R $=$ $\frac{1}{2}$ A R $=$ O R (462.) erit tempus unius oſcillationis ad tempus deſcenſûs perpendicularis per dimidiam penduli longitudinem ut circuli peripheria ad diametrum.

471. *Corol.* Dimidia penduli longitudo A O, eſt ad ſpatium A E deſcenſu perpendiculari deſcriptum unius oſcillationis tempore in duplicatâ ratione diametri ad peripheriam circuli. Sit enim tempus unius oſcillationis t, diameter circuli ad peripheriam, ut d, ad p, & erit (469) tempus deſcenſus perpendicularis per ſpatium A O $= \frac{dt}{p}$; ſed (27) $\frac{ddtt}{pp} : tt =$ A O : A E, ergò A O : A E $=$ d d : p p. *Hugenius*, cui pendulorum theoria debetur, *prop.* 25. *part.* 4. *horologii oſcillatorii*, longitudinem penduli ſingulas oſcillationes uno minuto ſecundo abſolventis invenit pedum Pariſ. 3. & linearum 8 $\frac{1}{2}$, hoc eſt, linearum $\frac{881}{2}$, & hinc dimidia penduli longitudo erat linearum $\frac{881}{4} = 220.\ 25.$ Eſt autem diameter circuli ad peripheriam ut 113, ad 355, quam proximè, & proindè quadratum diametri ad quadratum peripheriæ ut 12769. ad 126025; quarè ſpatium uno minuto ſecundo deſcriptum à corpore gravi perpendiculariter cadente, eſt pedum Pariſ. 15. $\frac{1}{12}$, quam proximè.

472. *Coroll.* Quoniam propè telluris ſuperficiem gravium directio horizonti ad ſenſum perpendicularis eſt gravitaſque conſtans, atque adeò V gravitas abſoluta, & A C diſtantia à centro telluris datæ ſunt, in pendulis in cycloidem vulgarem aut etiam in exiguos arcus circuli (465) excurrentibus, tempus unius oſcillationis (per *caſ.* 2. *prop.* 52.) erit ut $\sqrt{AR}$, id eſt, in ratione ſubduplicatâ longitudinis penduli & proindè longitudo penduli in ratione duplicatâ temporis unius oſcillationis.

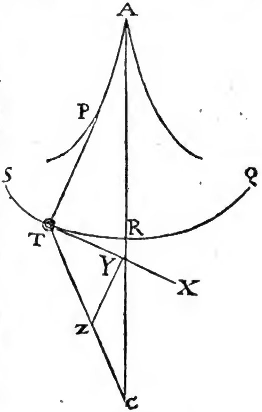
473.

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LIII. Probl. XXXV.

PROPOSITIO LIII. PROBLEMA XXXV.

Conceſſis figurarum curvilinearum quadraturis, invenire vires quibus corpora in datis curvis lineis oſcillationes ſemper iſochronas peragent.



Oſcilletur corpus *T* in curvâ quâvis lineâ *STRQ*, cujus axis ſit *AR* tranſiens per virium centrum *C*. Agatur *TX* quæ curvam illam in corporis loco T quovis contingat, inque hâc tangente *TX* capiatur *TY* æqualis arcui *TR*. Nam (f) longitudo arcus illius & figurarum quadraturis, per methodos vulgares, innoteſcit. De puncto *Y* educatur recta *YZ* tangenti perpendicularis. Agatur *CT* perpendiculari illi occurrens in *Z*, & erit vis centripeta proportionalis rectæ *TZ*. *Q.E.I.*

Nam ſi vis, quâ corpus trahitur de *T* verſus *C*, exponatur

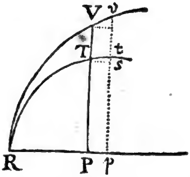
473. *Corol.* Numeri oſcillationum iſochronarum à duobus pendulis A B, a b, eodem tempore confectarum ſunt reciprocè ut tempora quibus ſingulæ oſcillationes fiunt. Nam ſi pendulum a b, bis oſcilletur eo tempore quo A B ſemel; a b, quatuor oſcillationes abſolvet, dum A B duas conficit, & ità porrò in aliis ſuppoſitionibus, ut patet. Quarè numeri oſcillationum iſochronarum eodem tempore à duobus pendulis confectarum ſunt in ratione ſubduplicatâ longitudinum pendulorum inversè (472).

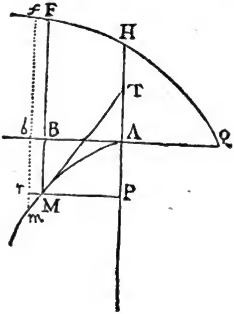


474. *Corroll.* Hinc ſi tempus unius oſcillationis penduli A B, ſit L, tempus unius oſcillationis penduli a b, ſit t, numeri oſcillationum eodem tempore confectarum N, n, erit T : t = n : N (473), & T T : t t = A B : a b (472) ac propterea n n : N N = A B : a b. Datis igitur tribus harum proportionum terminis quartus datus eſt.

(f) 476. *Nam longitudo arcus &c.* Curvæ R T t ſit axis R P, vertex R, ad axem ordinatim applicatæ T P, t p, infinitè propinquæ T s axi parallela & ordinariæ t p occur-

per rectam TZ captam ipſi proportionalem, reſolvetur hæc in vires TY, YZ; quarum YZ trahendo corpus ſecundum longitudinem fili PT, motum ejus nil mutat, vis autem altera TY motum ejus in curvâ $STRQ$ directè accelerat vel directè retardat. (g) Proinde cum hæc ſit ut via deſcribenda TR, accelerationes corporis vel retardationes in oſcillationum duarum (ma-



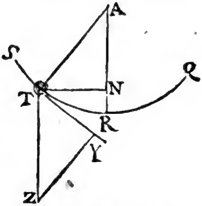


occurrens in s. Sit $RP = x$, $PT = y$, & erit $Pp = Ts = dx$, $ts = dy$, $Tt^2 = dx^2 + dy^2$, $Tt = \sqrt{dx^2 + dy^2}$; quarè RT, fluens ipſius Tt, æqualis erit fluenti quantitatis $\sqrt{dx^2 + dy^2}$. Ex æquatione ad curvam RT, quæratur valor ipſius dy per dx & alias quantitates, ſitque $dy = Q\,dx$, Q vero quantitas quælibet conſtans aut variabilis, erit $\sqrt{dx^2 + dy^2} = dx\sqrt{1 + QQ}$. In perpendiculo PT, capiatur $PV = A \times \sqrt{1 + QQ}$, ſitque A quantitas data, & curva RV locus punctorum V, erit areæ RVP elementum $Pp \times PV = A\,dx\sqrt{1 + QQ}$, undè $Tt = dx\sqrt{1 + QQ} = \frac{Pp \times PV}{A}$, & capiendo utrinque fluentes $RT = \text{areæ}\,\frac{RVP}{A}$, curvæ igitur RT rectificatio ad quadraturam figuræ RVP reducta eſt.

476. Idem aliâ methodo fieri poteſt. Sit curvæ hujus rectificandæ AMm, axis AP, & vertex A. Per punctum quodvis M agatur tangens MT axi occurrens in T, & MF axi parallela rectam AB axi normalem ſecans in B; capiatur ſemper AB ad MT ſicut conſtans quævis A ad BF, & punctum F curvam FHQ perpetuò tangat, erit ſpatium curvilineum BFHA æquale rectangulo ſub arcu AM & conſtanti A comprehenſo, adeóque arcus $AM = \frac{BFHA}{A}$. Nam ductâ mf priori MF parrallelâ & infinitè propinquâ, demiſſoque ad axem AP perpendiculo MP, quod rectam mf, ſecat in r; erit ob triangula MPT, Mrm ſimilia $Mr : Mm = MP$, vel $BA : MT = A : BF$ (*per conſtr.*) Ergò $BF \times Mr$, id eſt, elementum $BbfF = Mm \times A$, ac proindè ſpatium fluens AHFB æquale fluenti $AM \times A$.

(g) * *Proindè &c.* Quæ ſequuntur manifeſta ſunt (ex *dem. prop.* 51.

(majoris & minoris) partibus proportionalibus deſcribendis, eruut ſemper ut partes illæ, & propterea facient ut partes illæ ſimul deſcribantur. Corpora autem quæ partes totis ſemper proportionales ſimul deſcribunt, ſimul deſcribent totas. *Q. E. D.* (h)



Corol. 1. Hinc ſi corpus *T*, filo rectilineo *AT* à centro *A* pendens, deſcribat arcum circularem *STRQ*, & interea (i) urgeatur ſecundum lineas parallelas deorſum à vi aliquâ, quæ ſit ad vim uniformem gravitatis, ut arcus *TR* ad ejus ſinum *TN*: æqualia erunt oſcillationum ſingularum tempora. Etenim ob parallelas *TZ*, *AR*, ſimilia erunt triangula *ATN*, *ZTY*; & propterea *TZ* erit ad *AT* ut *TY* ad *TN*; hoc eſt, ſi gravitatis vis uniformis exponatur per longitudinem datam *AT*; vis *TZ*, quâ oſcillationes evadent iſochronæ, erit ad vim gravitatis *AT*, ut arcus *TR* ipſi *TY* æqualis ad arcûs illius ſinum *TN*.

Corol. 2. Et propterea in horologiis, ſi vires à machinâ in pendulum ad motum conſervandum impreſſæ ita cum vi gravitatis componi poſſint, ut vis tota deorſim ſemper ſit ut linea quæ oritur applicando rectangulum ſub arcu *TR* & radia

AR

(h) 477. *Q. E. D.* Datâ vi centripetâ T Z quâ corpus in datâ curvâ S R Q oſcillationes ſemper iſochronas peragit, velocitates illius corporis in locis ſingulis & tempora quibus tum oſcillationes totæ, tum ſingulæ oſcillationum partes peraguntur eodem modo definiuntur ac in *caſ.* 1°. *prop.* 52. Ductâ enim ex centro virium C rectâ quæ curvam tangat in puncto aliquo S, erit in hoc puncto T Z = T Y, hoc eſt, vis centripeta in curvâ S T R æqualis vi centripetæ ad C perpendiculariter tendenti in S; quarè manente conſtructione *caſ.* 1. *prop.* 52. & ſupponendo vim centripetam in H, (*vid. fig. ibid.*) quâ deſcribitur circulus H K M, æqualem vi centripetæ in S, tempus unius oſcillationis & ſingulæ oſcillationum partes, & velocitates in locis ſingulis invenientur prorſus (ut in *not.* 468.) iiſdemque ratiociniis res omnis demonſtrabitur.

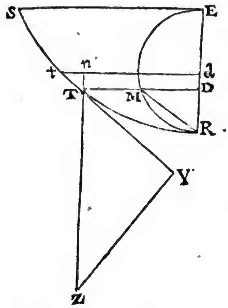
(i) * *Intereà urgeatur ſecundum lineas parallelas &c.* Centro C figuræ ſuperioris in infinitum abeunte.

Digitized by Google

A R ad ſinum *T N*, oſcillationes (k) omnes erunt iſochronæ.

(k) * *Oſcillationes omnes erunt iſochronæ.* Cùm enim vis tota T Z quâ oſcillationes redduntur iſochronæ ſit (*per cor. 1.*) ad vim gravitatis A T ſeu A R, ut T R ad T N, erit $TZ = \frac{AR \times TR}{TN}$, adeóque vis tota T Z, ut $\frac{AR \times TR}{TN}$.

478. Ex demonſtratis ſolvi poteſt hoc problema: Datâ lege vis centripetæ, invenire curvam tautochronam S T R, in quâ nimirum, corpus oſcillationes ſemper iſochronas peragat.

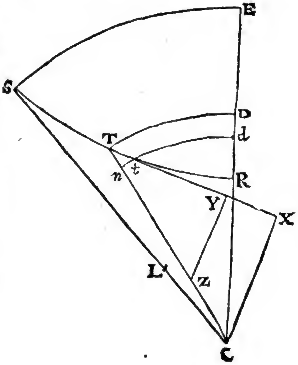


Caſus 1us. Vis gravitatis directio T Z ſemper ſit parallela axi E R curvæ S T R, ſint S E, t d, T D ad axem R E ordinatim applicatæ, punctum E datum, puncta D, d infinitè propinqua, tangens T Y æqualis arcui T R, Y Z ad T Y perpendicularis ſecet T Z in Z, & Z T producta ſecet t d in n. Dicantur R E = *a*, vis gravitatis in E vel S = *g*, in D vel T = *v*, pars lineæ verticalis per S ductæ determinata ad modum verticalis T Z, ſit = *b*, R D = *x*, D T = *y*, T R = T Y = *s*. Ob triangula T n t, T Y Z ſimilia, T n (dx) : T t (ds) = T Y (s) : T Z = $\frac{sds}{dx}$; ob angulum T n t rectum $ds^2 = dx^2 + dy^2$; & (*per prop.* 53.) $g : v = b : TZ \left(\frac{sds}{dx}\right)$, ideoque $sds = \frac{b}{g} v\, dx$, & ſumptis fluentibus $\frac{1}{2} ss = \frac{b}{g} S. v\,dx$; fluens autem S. $v\,dx$ ita ſumi debet, ut evaneſcente x, ea fluens evaneſcat. Erit igitur $ss = \frac{2b}{g} S. v dx$, $s = \sqrt{\frac{2b}{g} S. v dx}$, & ſumptis fluxionibus $ds = \frac{bvdx}{\sqrt{2bg\, S. vdx}}$, proindeque $ds^2 = \frac{bbvvdx^2}{2bg\,S. vdx} = dx^2 + dy^2$, & hinc $dx \sqrt{\frac{bvv - 2g\,S. vdx}{2g\,S. vdx}} = dy$ æquatio ad curvam tautochronam S T R, in quâ datâ lege vis gravitatis exterminabitur v.

Exemplum. Sit gravitas conſtans, ſeu $v = g$, & erit $vdx = gdx$, S. $vdx = gx$, quæ evaneſcit, ubi $x = 0$. Quare æquatio ad curvam S R fiet $dx \sqrt{\frac{b - 2x}{2x}} = dy$. Quoniam vero $ss = \frac{2b}{g} S. vdx = 2bx$, ſi ponatur b = S R, ut verticalis per S ducta curvam tangat in S, & loco s ſcribatur b, ac loco x ſcribatur a, erit $bb = 2ba$, & proinde $b = 2a$, atque $ss = 4ax$, hoc eſt, $SR = 2RE$, & $TR^2 = 4RE \times RD$; porrò ſi diametro R E deſcribatur circulus E M R ſecans D T in M, erit $MR^2 = RE \times RD$, $4MR^2 = 4RE \times RD$, ideoque $TR^2 = 4MR^2$, & $TR = 2MR$, quæ eſt proprietas cycloidis vulgaris circulo genitore E M R deſcriptæ.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LIII. Probl. XXXV.

Caſus 2. Tendat vis centripeta ad punctum datum C. Centro C, radiis C E, C D, C d deſcripti ſint arcus circulares E S, D T, d t n, curvæ S R occurrentes in S, T, t, & rectæ C T in n, ſintque E punctum in axe C E datum, D, d puncta infinitè propinqua, tangentis T X per T ductæ pars T Y æqualis arcui T R, & Z Y, C X ad tangentem perpendiculares. Dicantur $CE = a$, $CR = c$, S L pars radii C S eodem modo determinata ac T Z pars radii C T ſit $= b$, vis centripeta in E vel $S = g$, in D vel $T = v$, C D vel $CT = x$, T R vel $TY = s$, $CX = p$. Ob ſimilitudinem triangulorum T n t, T Y Z, T X C, eſt $Tn\ (dx) : Tt\ (ds) = TY\ (s) : TZ = \frac{sds}{dx}$ & $TC\ (x) : CX\ (p) = Tt\ (ds) : tn = \frac{pds}{x}$, ideoque ob angulum T n t rectum $ds^2 = dx^2 + \frac{ppds^2}{xx}$; & proinde $ds^2 = \frac{xxdx^2}{xx - pp}$.



Verùm (*per prop.* 53.) $g : v = b : TZ\ \left(\frac{sds}{dx}\right)$, undè $sds = \frac{b}{g} vdx$, & ſumptis fluentibus $\frac{1}{2} ss = \frac{b}{g} S.\ vdx$. Quoniam autem evaneſcente s, fit $x = c$, fluens $S.\ vdx$ ita accipi debet, ut, poſitâ $x = c$, evaneſcat. Erit igitur $ss = \frac{2b}{g} S.\ vdx$, $s = \sqrt{\frac{2b}{g} S.\ vdx}$, & ſumptis fluxionibus $ds = \frac{bvdx}{\sqrt{2bgS.vdx}}$, unde $ds^2 = \frac{bvvdx^2}{2gS.vdx} = \frac{xxdx^2}{xx - pp}$, atque adeo $\frac{bvv}{2gS.\ vdx} = \frac{x^2}{xx - pp}$ æquatio ad tautochronam S T R, in qua datâ lege vis centripetæ delebitur v.

Exemplum. Vis centripeta ſit ut diſtantia à centro C, hoc eſt, $g : v = a : x$, adeoque $v = \frac{gx}{a}$, $vdx = \frac{gxdx}{a}$, $S.\ vdx = \frac{gxx}{2a} + Q$ (conſtantem) & quoniam poſitâ $x = c$, evaneſcit $S.\ vdx$, erit $Q = \frac{-gcc}{2a}$, atque ita $S.\ vdx = \frac{gxx - gcc}{2a}$. Quarè erit $ss = \frac{2b}{g} S.\ vdx = \frac{bxx - bcc}{a}$, & æquatio ad tautochronam evadet $\frac{bxx}{axx - acc} = \frac{xx}{xx - pp}$, ſeu $pp = \frac{bxx - axx + acc}{b}$.

Jam ſi in hac æquatione ponatur $b = a$; erit $p = c$, & $ss = xx = cc$, ideoque tautochrona S R linea recta ad C R perpendicularis in R.

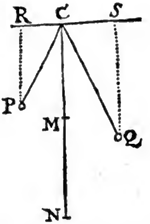
Si ponatur b major quàm a, & $c = o$; erit $p = x\sqrt{\frac{b-a}{b}}$, adeoque p ad x in ratione datâ, cumque ſit p ſeu C X ſinus anguli C T X, exiſtente radio x ſeu C T, erit angulus C T X conſtans, & proinde tautochrona S R ſpiralis logarithmica.

Si fuerit b minor quàm a, & recta C S curvam S R tangat in S, erit $b = SR$; cùmque ſit $ss = \frac{bxx - bcc}{a}$, ſi ponatur $s = SR = b$, & proinde $x = a$ fiet $bb =$

baa

$\frac{b\,aa - b\,cc}{a}$, & $b = \frac{aa - cc}{a}$. Jam ſi in æquatione ad curvam S R loco b ſcribatur $\frac{aa - cc}{a}$, erit $pp = \frac{aacc - ccxx}{aa - cc}$ æquatio ad cycloidem, quæ deſcribitur rotatione circuli cujus diameter eſt R E ſeu $a - c$ ſuper concavam peripheriam circuli centro C radio C E ſeu a deſcripti, ut liquet per n. 466.

Schol. In ſuperioribus de pendulorum motu propoſitionibus corporis penduli gravitatem in centro ceu puncto coactam & filum gravitatis expers ſuppoſuimus, quæ pendulum ſimplex conſtituunt. Quamobrem ne demonſtratæ oſcillationum leges in experimentis valdè perturbentur, filum uſurpandum eſt tenue cum globo exiguo & ex materiâ graviſſimâ conflato. Si verò filum aut virga è quâ globus pendet gravis fuerit & globus major, pendulum non amplius ſimplex eſt, ſed compoſitum, quod pluribus ponderibus inter ſe connexis inſtructum eſt.



DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LIII. PROBL. XXXV.

Pendulum compoſitum C P Q, onuſtum quotcumque ponduſculis P, Q, &c. quorum commune gravitatis centrum M circà punctum ſuſpenſionis C oſcilletur. Recta C M per punctum ſuſpenſionis C & commune gravitatis centrum M ducta vocatur axis penduli compoſiti P C Q, recta verò R C S in puncto ſuſpenſionis C ad axem penduli C M perpendicularis dicitur axis oſcillationis. Si in axe penduli compoſiti C M, capiatur C N. æqualis longitudini penduli ſimplicis ſuas oſcillationes in circulo eodem tempore quo pendulum compoſitum C P Q ſemper abſolventis, pendulum illud ſimplex compoſito C P Q ſynchronum vel etiam iſochronum dicitur, & punctum N centrum oſcillationis penduli compoſiti C P Q appellatur. Porrò ſi ſingulorum ponduſculorum P, Q &c. gravitas in punctis P, Q &c. collecta intelligatur, & lineæ P C, Q C &c. gravitatis expertes ſupponantur, ſitque M ſumma ponduſculorum omnium P, Q, &c. atque ex punctis P, Q &c. ad axem oſcillationis R C S demittantur perpendicula P R, Q S &c. erit $CN = \frac{P \times PR^2 + Q \times QS^2}{M \times MC} +$ &c. id eſt, ſi pondera ſingula penduli compoſiti ducantur in quadrata diſtantiarum ſuarum ab axe oſcillationis, & ſumma productorum dividatur per id quod fit ducendo ponderum ſummam in diſtantiam centri gravitatis communis omnium ab eodem axe oſcillationis, orietur longitudo penduli ſimplicis compoſito iſochroni, ſivè diſtantia inter axem & centrum oſcillationis ipſius penduli compoſiti. Hoc pulcherrimum theorema quo linearum ac figurarum omnium oſcillantium centrum oſcillationis determinatur, primus in horologio oſcillatorio invenit ac demonſtravit *Hugenius*. Idem theorema ſuo quiſque modo poſtea demonſtrarunt fratres celeberrimi *Jacobus* & *Joannes Bernoulli*, ille in Actis Lipſienſibus an. 1691. & Commentariis Pariſ. an. 1703. Hinc verò in Actis Lipſienſibus & Commentariis Paris. an. 1714. quorum demonſtrationes expoſuit clariſſ. *Wolfius* in Elementis Mechanices. *Hermannus* quoque *lib.* 1°. *Phoron. cap.* 5°. & initio Tomi 3ⁱ. *Acad. Petropol.* duas ejuſdem theorematis demonſtrationes edidit.

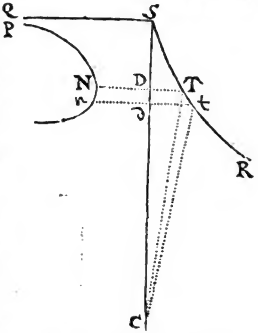
Hugenius horologii oſcillatorii parte 4ª. prop. 22. diſtantiam centri oſcillationis à puncto ſuſpenſionis in ſphærâ filo tenui ſuſpenſâ æqualem eſſe invenit longitudini fili cum radio ſphæræ atque duabus quintis partibus tertiæ proportionalis ad lineam compoſitam ex radio ſphæræ ac longitudine fili & radium ipſum, hoc eſt, ſi filum dicatur L, radius ſphæræ R, diſtantia centri oſcillationis à puncto ſuſpenſionis D, erit $D = L + R + \frac{2RR}{5(L+R)}$. Sed hæc omnia indicare, non verò demonſtrare nobis licet, cum his Propoſitionibus non utatur Autor noſter.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LIV. PROBL. XXXVI.

PROPOSITIO LIV. PROBLEMA XXXVI.

Conceſſis figurarum curvilinearum quadraturis, invenire tempora, quibus corpora vi quâlibet centripetâ in lineis quibuſcunque curvis, in plano per centrum virium tranſeunte deſcriptis, deſcendent & aſcendent.

Deſcendat corpus de loco quovis *S*, per lineam quamvis curvam *S T t R* in plano per virium centrum *C* tranſeunte datam. Jungatur *C S* & dividatur eadem in partes innumeras æquales, ſitque *D d* partium illarum aliqua. Centro *C* intervallis *C D*, *C d* deſcribantur circuli *D T*, *d t*, lineæ curvæ *S T t R* occurrentes in *T* & *t*. Et ex datâ tum lege vis centripetæ, tum altitudine *C S* de quâ corpus cecidit; dabitur velocitas corporis in aliâ quâvis altitudine *C T* (*per prop.* XXXIX.) (1) Tempus autem, quo corpus deſcribit lineolam *T t*, eſt ut lineolæ hujus longitudo, id eſt, ut ſecans anguli *t T C* directè; & velocitas inversè. Tempori huic proportionalis ſit ordinatim applicata *D N* ad rectam *C S* per punctum *D* perpendicularis, & ob datam *D d* erit rectangulum



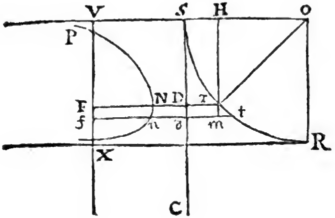
D d

(1) * *Tempus autem quo corpus &c.* Nam, T t, eſt ſpatium naſcens velocitate uniformi deſcriptum, eſt autem tempus quo ſpatium aliquod æquabiliter deſcribitur ut ſpatium illud directè & velocitas inversè (5). Porrò ſi centro T radio dato D d, æquali differentiæ rectarum T C, t C circulus deſcribi intelligatur, erit T t ſecans anguli t T C, quarè ob datum radium D d erit ſemper T t ut ſecans anguli t T C, atque adeò tempus quo deſcribitur T t erit ut illa ſecans directè & velocitas inversè. Sed datâ tangente curvæ S T R in puncto T datur anguli C T t ſecans; undè dabitur D N proportionalis tempori quo deſcribitur T t.

Digitized by Google

$D\,d \times DN$, hoc eſt area $D\,N\,n\,d$. eidem tempori proportionale. Ergo ſi $P\,N\,n$ ſit curva illa linea quam punctum N perpetuo tangit, ejuſque aſymptotos ſit recta $S\,Q$ rectæ $C\,S$ perpendiculariter inſiſtens: erit area $S\,Q\,P\,N\,D$ proportionalis tempori quo corpus deſcendendo deſcripſit lineam $S\,T$; proindeque ex inventâ illâ areâ dabitur tempus. *Q. E. I.*

P R O-



479. *Exemplum.* Centrum virium C; in infinitum abeat, ut ſit vis centripeta conſtans, illiuſque directio rectæ S D C ſemper parallela, & arcus D T, d t, in rectas lineas ad S D normales mutentur. Sit curva S T R circuli quadrans cujus centrum O & radius O S ad S D perpendicularis; producantur perpendicula T D, O S ad F & V, & D F conſtans gravitatem exhibeat in loco D, punctum F perpetuò tanget rectam V F lineæ S D parallelam, eritque (408) velocitas in D vel $T = \sqrt{2\,SD \times FD}$. Ex puncto T ad S O demittatur perpendiculum T H rectam d t ſecans in m, ſitque $SO = a$, $SV = FD = b$, $SD = TH = x$ & ob triangula T O H, t T m, ſimilia, erit $HO\,(\sqrt{aa - xx}) : TO\,(a) = Tm\,(dx) : Tt = \frac{a\,dx}{\sqrt{aa - xx}}$, velocitas in $T = \sqrt{2\,SD \times DF} = \sqrt{2bx}$. Quarè tempus per arcum naſcentem $Tt = \frac{Tt}{\sqrt{2bx}}\,(5) = \frac{a\,dx}{\sqrt{2aabx - 2bx^3}}$ undè, $DN = \frac{a}{\sqrt{2baax - 2bx^3}}$. Si N D dicatur y, erit $yy = \frac{aa}{2baax - 2bx^3}$ æquatio ad curvam P N n, in quâ ſi ponatur $x = o$ vel $x = a$ erit y infinita, & proindè rectæ O V, R X ad S D perpendiculares ſunt hujus curvæ aſymptoti.

Similiter ſi corpus de loco R aſcendat in ſemicirculo R T S, ſitque ejus velocitas in R illa quâ poſſit ad altitudinem verticalem e aſcendere, dicanturque X V ſeu $RO = a$, $FX = x$, ideoque velocitas in $T = \sqrt{2be - 2bx}$, & $Tt = \frac{a\,dx}{\sqrt{aa - xx}}$; erit tempus per $Tt = \frac{a\,dx}{\sqrt{2be - 2bx \times aa - xx}}$ & $DN = y = \frac{a}{\sqrt{2be - 2bx \times (aa - xx)}}$, ubi D N per unitatis quadratum, ut ſervetur homogeneitas, diviſa intelligitur.

Scho-

PROPOSITIO LV. THEOREMA XXI.

Si corpus movetur in ſupe ficie quâcunque curvâ, cujus axis per centrum virium tranſit, & à corpore in axem demittatur perpendicularis, eique parallela & æqualis ab axis puncto quovis dato ducatur: dico quod parallela illa aream tempori proportionalem deſcribet.

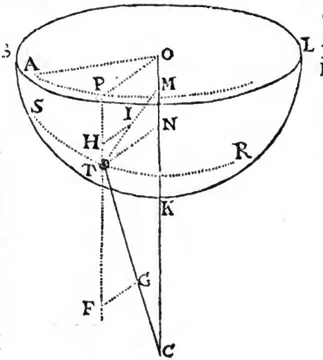
Sit *B K L* ſuperficies curva, *T* corpus in eâ revolvens, *S T R* trajectoria, quam corpus in eâdem deſcribit, *S* initium trajectoriæ, *O M K* axis ſuperficiei curvæ, *T N* recta à corpore in axem perpendicularis, *O P* huic parallela & æqualis à puncto *O*, quod in axe datur, educta, *A P* (m) veſtigium trajectoriæ à puncto *P* in lineæ volubilis *O P* plano *A O P* deſcriptum; *A* veſtigii initium puncto *S* reſpondens; *T C* recta à corpore ad centrum ducta; *T G* pars ejus vi centriptæ quâ corpus urgetur in centrum *C*, pro-

Scholium. Si ex his tribus, vi centripeta in ſingulis locis, curvâ in quâ corpus aſcendit vel deſcendit, & tempore quo ſinguli curvæ arcus percurruntur, duo data fuerint, tertium dabitur. Sit enim (in ſuperioribus figuris) D d $= dx$, T t $= ds$, t m $= dy$, velocitas in T $= c$, & erit $ds^2 = dx^2 + dy^2$, & (5) $c\,dt = ds$, ideoque $cc\,dt^2 = dx^2 + dy^2$. Quare ſi, datâ vi centripetâ, ſeu (*per prop. 39.*) æquatione inter c & x, detur etiam æquatio inter t & x vel y, dabitur æquatio inter x & y, hoc eſt, æquatio ad curvam S T t, & vice versâ. Exempli causâ, poſitâ vi centripetâ conſtante & ad diſtantiam infinitam tendente, corpus ita deſcendat in curva S T t, ut tempus per arcum quemvis S T proportionale ſit altitudini correſpondenti S d, dicanturque S d $= x$, D T $= y$, tempus per S T $= t$, velocitas in T $= c$; & erit dt ut dx, & c ut $\sqrt{x}$, ideoque $c\,dt$ ut $dx\sqrt{x}$, & hinc ſi fuerit a quantitas conſtans, $c\,dt = dx\frac{\sqrt{x}}{a}$ & proinde $\frac{x\,dx^2}{a} = dx^2 + dy^2$, & hinc $(x - a)\,dx^2 = a\,dy^2$. Ponatur $x - a = v$, & erit $dx = dv$, & $v^{\frac{1}{2}}\,dv = a^{\frac{1}{2}}\,dy$, ſumptiſque fluentibus $\frac{2}{3} v^{\frac{3}{2}} = a^{\frac{1}{2}} y$, $\frac{4}{9} v^3 = ayy$, $v^3 = \frac{9}{4} ayy$, æquatio ad parabolam ſecundi generis, cujus eſt latus rectum $\frac{9a}{4}$, abſciſſa v, & ordinatim applicata y. Sed quoniam in illâ parabolâ, poſitâ $y = 0$, ſit $v = 0$, adeoque $x - a = v = 0$, & $x = a$, patet corpus de altitudine a cadere debere antequam in parabola deſcendat, capiendamque eſſe S D $= v$, ut tempus per arcum S T ſit proportionale altitudini $v + a$, ſeu x.

(m) * *A P veſtigium &c.* Si corpus in ſuperficie quâcunque curvâ moveatur, ſuoque motu curvam deſcribat quæ in plano poſita non ſit, ad planum eſt referenda, idque ſit ſi in ſuperficie curvâ aliquod fingatur planum ad quod ex ſingulis curvæ deſcriptæ punctis erigantur perpendiculares, quarum extremitates aliam in plano lineam deſcribent, hæc linea primæ veſtigium ſeu linea projectionis dicitur.

Digitized by Google

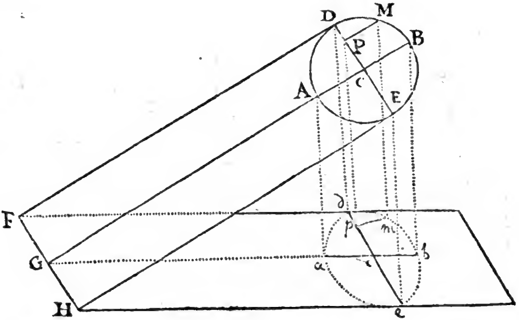
proportionalis; *TM* recta ad ſuperficiem curvam perpendicularis; *TI* pars ejus vi preſſionis, quâ corpus urget ſuperficiem viciſſimque urgetur verſus *M* à ſuperficie, proportionalis; *PTF* recta axi parallela per corpus tranſiens, & *GF*, *IH* rectæ à punctis *G* & *I* in parallelam illam *PHTF* perpendiculariter demiſſæ. Dico jam, quod area *AOP*, radio *OP* ab initio motus deſcripta, ſit tempori proportionalis. Nam vis *TG* (*per legum corol.* 2.) reſolvitur in vires *TF*, *FG*; & vis *TI* in vires *TH*, *HI*: Vires autem *TF*, *TH* agendo ſecundum lineam *PF* plano *AOP* perpendicularem mutant ſolummodo motum corporis quâtenus huic plano perpendicularem. Ideoque motus ejus quâtenus ſecundum poſitionem plani factus; hoc eſt, motus puncti *P*, quo trajectoriæ veſtigium *AP* in hoc plano deſcribitur, idem eſt ac ſi vires *TF*, *TH* tollerentur, & corpus ſolis viribus *FG*, *HI* agitaretur; hoc eſt, idem ac ſi corpus in plano *AOP*, vi (n) centripetâ ad centrum *O* tendente & ſummam virium *FG* & *HI* æquante, deſcriberet curvam *AP*. Sed vi tali deſcribitur area *AOP* (*per prop.* 1.) tempori proportionalis. *Q. E. D.*



Corol. Eodem argumento ſi corpus, à viribus agitatum ad centra duo vel plura in eâdem quâvis rectâ *CO* datâ tendentibus, deſcriberet in ſpatio libero lineam quamcunque curvam *ST*; foret area *AOP* tempori ſemper proportionalis.

(n) * *Vi centripetâ ad centrum O &c.* Nam curva ſuperficies BSKL genita ſupponitur revolutione curvæ lineæ BSK circa axem ſuum OC, undè ſequitur lineas omnes PO, HI, TM, FG, PF, CO eſſe in eodem plano, atque ideò vim centripetam agentem in plano illo ad centrum O juxtà lineam PO dirigi.

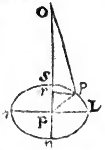
Digitized by Google



480. *Lem.* Si linea recta A B projiciatur in planum F H e b d, projectio eſt linea recta a b, quæ eſt ad lineam A B, ut coſinus anguli inclinationis B G b, ad ſinum totum. Nam ſi ex punctis A, B, demittantur ad planum F H e b d, perpendicula duo A a, B b, patet planum a A B b, eſſe ad planum F H e b d normale, adeoque perpendicula omnia ex ſingulis lineæ A B punctis demiſſa, cadere in lineam rectam a b, quæ eſt communis interſectio planorum F H e b d, a A B b. Q. E. 1um. Porrò productis B A, b a ut ſibi occurrant in G, ob parallelas A a, B b, erit a b ad A B, ut G b ad G B, id eſt, ut ſinus anguli G B b ſive Coſinus anguli inclinationis B G b, ad ſinum totum. Q. E. 2um.

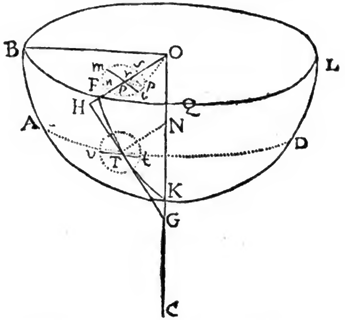
481. *Coroll.* Si linea projicienda, plano in quod projicitur parallela fuerit projectio erit linea recta lineæ projiciendæ æqualis & parallela; Nam in hoc caſu angulus inclinationis nullus eſt, & ejus coſinus fit radius. Hinc ſi linea E D, ad rectam A B perpendicularis, fuerit plano F H e b d, parallela, projectio illius e d, erit ipſi E D æqualis.

482. *Lem.* Iiſdem poſitis, ſi in plano D F H E B A, centro C, radio C D, deſcribatur circulus D A E B, illius in planum F H e b d projectio d a e b, erit ellipſis cujus major axis d e æqualis erit diametro circuli D E, & ad minorem axem a b, rationem habebit ſinûs totius ad coſinum anguli B G b, inclinationis planorum. Agatur enim P M ordinatim ad diametrum circuli D E, & projiciatur in rectam P m, erit d p = D P, & p e = P E (481.) atque p m ad P M, ut ſinus anguli P M m, ſeu anguli A B b, ad ſinum totum (480) hoc eſt, ut a b, ad A B ſeu d e, adeoque $pm^2 : PM^2 = ab^2 : de^2$, ſed ex naturâ circuli $PM^2 = DP \times PE = dp \times pe$, Ergo $pm^2 : dp \times pe = ab^2 : de^2$. Eſt igitur a e b d, ellipſis. Cætera patent per Lemma ſuperius & ejus coroll.



483. *Lem.* Sint ellipſeos datæ L S m n axes L m, S n, centrum, P, O punctum in axe n S producto datum, p punctum perimetri non datum. Datâ areâ trianguli O p P, dabitur perpendiculum p r, ex puncto p, ad trianguli baſim datam P O demiſſum & hinc ex naturâ ellipſeos dabitur r P, atque ob angulum rectum ad r, dabitur P p, & indè punctum p in perimetro cum angulo O P p, & poſitione rectæ O p.

Digitized by Google



484. *Lem.* Superficies curva B A T K L, deſcribatur revolutione curvæ B A K circà axem ſuum immobilem O C, & ſingula curvæ illius puncta B, A circulos B Q L, A T D deſcribent; cum curva BAK pervenit ad ſitum F T K, & punctum A ad T, agantur recta G T H curvam F T K tangens in T & axem ſecans in G, ac rectâ v T t circulum A T D tangens in eodem puncto T, ſitque G T H, in plano curvæ O F K, & v T t, in plano circuli A T D. Manifeſtum eſt planum quod ſuperficiem curvam B A T K L tangit in T, convenire cum plano in quo ſunt rectæ G T H, v T t; & ſi fuerit O centrum circuli B F Q L, & ducatur radius O F tangenti G T occurrens in H, angulum G H O fore æqualem angulo inclinationis plani circuli B Q L O, ad planum quod ſuperficiem curvam tangit in T; Ducto autem circuli A T D radio T N, fore angulum G T N, æqualem angulo inclinationis G H O.

485. *Coroll.* 1. Iiſdem poſitis, ſi centro T, radio quam minimo T t, circellus in ſuperficie curvâ B A T L deſcribatur, circellus ille evaneſcens erit in plano ſuperficiem curvam tangente in T, adeóque angulus inclinationis plani BOLQ, ad planum circelli evaneſcentis productum, æqualis erit angulo G T N, (484).

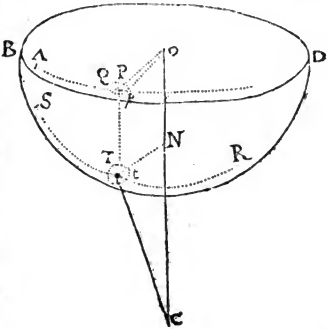
486. *Coroll.* 2. Si circellus radio T t deſcriptus projiciatur in planum B O L Q, illius projectio l s m n, erit ellipſis (482) cujus axis major l m æqualis eſt & parallelus circelli diametro v T t, quæ pars eſt evaneſcens circuli A T D, axis minor s n pars radii O F, & l m erit ad s n ut T G ad T N. Eſt enim circuli peripheria A T D adeóque & pars illius v T t, plano B F L O parallela; Quarè (481) diametri v T t projectio m l, erit linea parallela & æqualis ipſi v t; erit quoque l m, ad radium O P F normalis, ob v t ad T N perpendicularem, proindeque axis minor ellipſeos s n erit pars radii O F; Eſt autem (482) l m ad s n, ut ſinus totus ad coſinum anguli inclinationis planorum G H O, ſeu G T N, (484) hoc eſt, ut T G ad TN, ob angulum T N G rectum.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LVI. Probl. XXXVII.

PROPOSITIO LVI. PROBLEMA XXXVII.

Conceſſis figurarum curvilinearum quadraturis, datiſque tum lege vis centripetæ ad centrum datum tendentis, tum ſuperficie curvâ cujus axis per centrum illud tranſit; invenienda eſt trajectoria quam corpus in eâdem ſuperficie deſcribet, de loco dato, datâ cum velocitate, verſus plagam in ſuperficie illâ datam egreſſum.

Stantibus quæ in ſuperiore propoſitione conſtructa ſunt, exeat corpus *T* de loco dato *S* ſecundum rectam poſitione datam in trajectoriam inveniendam *S T R*, cujus veſtigium in plano *B D O* ſit *A P*. Et ex datâ corporis velocitate in altitudine *S C*, (o) dabitur ejus velocitas in aliâ quâvis altitudine *T C*. Eâ cum velocitate dato tempore quam minimo deſcribat corpus trajectoriæ ſuæ particulam *T t*, ſitque *P p* veſtigium ejus in plano *A O P* deſcriptum. Jungatur *O p*, & circelli centro *T* intervallo *T t* in ſuperficie curva deſcripti veſtigium in plano *A O P* ſit ellipſis *p Q*. Et



ob

(o) * *Dabitur ejus velocitas in aliâ &c.* Nam (*per prop.* 40.) velocitas corporis in altitudine T C, æqualis eſt velocitati quam corpus haberet ad eandem altitudinem in lineâ rectâ S C, ſi de loco S, rectâ fuiſſet verſus C projectum cum eadem velocitate quâ trajectoriam S T R. incipit deſcribere in S; ſed datâ in loco S velocitate corporis per lineam S C verſus centrum C projecti, datur illius velocitas in alio quovis loco lineæ S C, (*per cor.* 2. *prop.* 39.). Ergo ex datâ corporis velocitate in altitudine S C, dabitur ejus velocitas in aliâ quâvis altitudine T C.

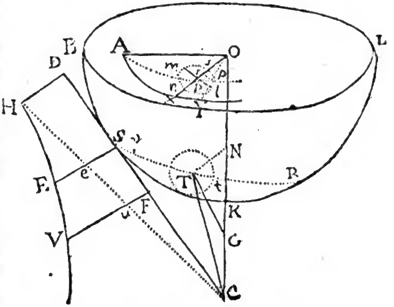
Digitized by Google

(p) ob datum magnitudine circellum $T\,t$, datamque ejus ab axe CO diſtantiam TN vel PO, dabitur ellipſis illa $p\,Q$ ſpecie & magnitudine, ut & poſitione ad rectam $P\,O$. Cumque (q) area $P\,O\,p$ ſit tempori proportionalis, atque ideo ex dato tempore detur, dabitur angulus $P\,O\,p$. Et inde dabitur ellipſeos & rectæ $O\,p$ interſectio communis p, unà cum angulo $O\,P\,p$ in quo trajectoriæ veſtigium $A\,P\,p$ ſecat lineam $O\,P$. (r) Inde verò (conferendo (*prop.* XLI. cum *corol.* ſuo 2.) ratio determinandi curvam $A\,P\,p$ facile apparet. Tum eu ſingulis veſtigiis punctis P, erigendo ad planum $A\,O\,P$ perpendicula $P\,T$ ſuperficiei curvæ occurrentia in T, dabuntur ſingula trajectoriæ puncta T. *Q. E. I.*

(p) * *Et ob datum magnitudine circellum &c.* Nam datis velocitate & tempore quibus uniformiter deſcribitur ſpatium naſcens T t, datur ſpatium illud T t, ſeu radius circelli (5). Præterea datâ altitudine T C, datur tum planum ad axem C O perpendiculare in quo circelli centrum poſitum eſt, tum angulus inclinationis plani quod in puncto T curvam ſuperficiem B S T D tangit (484) ad planum B O D P, adeóque datur angulus inclinationis plani in quo eſt circellus naſcens ad planum B O D P (485), undè (482. 486.) ellipſis P p q, in quam circellus projicitur, dabitur ſpecie & magnitudine ut & poſitione ad rectam P O.

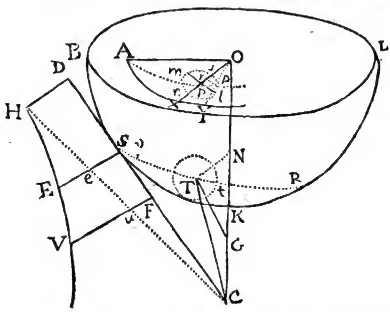
(q) * *Cùmque area P O p, ſit tempori* quo deſcribitur *proportionalis* (*prop.* 55.) eodemque tempore quo circelli radius T t deſcribatur, ex hoc tempore dato datur, atque adeò dabitur angulus P O p, & indè dabitur ellipſeos & rectæ O p interſectio communis p, unà cum angulo O P p (483).

(r) 487. *Indè verò &c.* Sit D locus in rectâ C S productâ, de quo corpus vi centripetâ ad C tendente cadendo acquirit in loco S velocitatem cum quâ trajectoriam S T R incipit deſcribere. In linea C S, capiatur C F = C T, & per puncta F, S, D, erigantur ad C D perpendicula F V, S E, D H vi centripetæ in illis locis proportionalia, ſitque H E V linea quam punctum V perpetuò tangit. Per punctum T, agatur TG, quæ curvam cujus revolutione deſcribitur ſuperficies B S T K L, tangat in T; ſitque eadem T G in curvæ illius plano, & producta, axi O C occurrat in G, velocitates in locis S, & T, ſeu F, erunt ut $\sqrt{}$ D H E S, & $\sqrt{}$ D H V F. (P.r 1am. partem



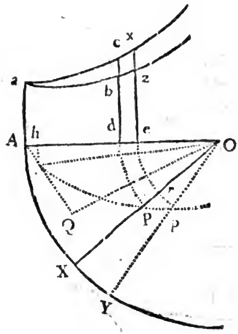
 prop.

Digitized by Google



prop. 39.) Et quoniam area P O p, ſeu $\frac{PO \times pr}{2}$ eſt ut tempus quo deſcribitur T t ſive P l, erit P l, ut $PO \times pr \sqrt{DHVF}$ hoc eſt, ſpatium uniformiter deſcriptum ut velocitas & tempus conjunctim (5). Quarè ſi detur quantitas B erit $Pl = B \times PO \times pr \times \sqrt{DHVF}$. Eſt autem P l ſemiaxis tranſverſus ellipſeos ad P s ſemiaxem conjugatum ut T H ad T N ſeu P O (486) quarè erit $Ps = \frac{B \times PO^2 \times pr \times \sqrt{DHVF}}{TG}$; ſed ex naturâ ellipſeos $Pl^2 : Ps^2 (= TG^2 : PO^2) = pr^2 : nr \times rs$ ſeu $Ps^2 - Pr^2$, atque adeò $PO^2 \times pr^2 = TG^2 \times Ps^2 - TG^2 \times Pr^2$; & hinc $Pr^2 = Ps^2 - \frac{PO^2 \times pr^2}{TG^2} = \frac{B^2 \times PO^4 \times pr^2 \times DHVF - PO^2 \times pr^2}{TG^2}$, proindèque $Pr = \frac{PO \times pr \times \sqrt{B^2 \times PO^2 \times DHVF - 1}}{TG}$, & $pr = \frac{TG \times Pr}{PO \sqrt{B^2 \times PO^2 \times DHVF - 1}}$. Quarè $\frac{PO \times pr}{2} = POp = \frac{TG \times Pr}{2\sqrt{B^2 \times PO^2 \times DHVF - 1}}$. Centro O & radio O A, deſcribatur circuli arcus A X Y, & producantur O P, O p, ut arcui huic occurrant in X & Y; erit $PO : OX$ ſeu $AO = pr : XY = \frac{AO \times pr}{PO}$, & hinc area O X Y $\left(\text{ſive } \frac{AO \times XY}{2}\right) = \frac{AO^2 \times pr}{2PO} = \frac{AO^2 \times TG \times Pr}{2PO^2 \sqrt{B^2 \times PO^2 \times DHVF - 1}}$. Itaque ſi in recta d c, ad A O perpendiculari capiantur $db = \frac{TG}{2\sqrt{B^2 \times PO^2 \times DHVF - 1}}$ & $dc = \frac{AO^2 \times TG}{2PO^2 \sqrt{B^2 \times PO^2 \times DHVF - 1}}$, & deſcribantur lineæ curvæ a b z, a c x, quas puncta b, c, perpetuò tangunt, deque puncto A, ad lineam A O, erigatur perpendiculum A a, ponendo d O = P O, patet fore areas A a b d, A a c d, areis A P O, A X O, æquales &c., (*ut in prop.* 41.)

488. Quantitas conſtans B, quam in ſuperioribus æquationibus uſurpavimus, facilè determinatur. Nam datâ directione corporis trajectoriam S T R, (*vid. fig. not.* 487.) deſcribere incipientis, datur illius projectio A Q, quæ ut patet, eſt tangens veſtigii A P p in A, quâ veſtigium A P p incipit deſcribi; projecto in tangen-



gentem A Q ſpatio quod corpus in S dato tempore deſcriberet ſecundum directionem ſuam in S, ſit O Q perpendiculum ex centro O, in tangentem A Q, demiſſum, velocitas in S ad velocitatem in A ut O Q, ad C quantitatem datam, & ductâ O f, ſit area A O f deſcripta eodem tempuſculo quo area naſcens O P p & arcus naſcentes T t, S v trajectoriæ S T R deſcribuntur, & quoniam velocitates uniformes ſunt ut ſpatia eodem tempore percurſa, erit S v : A f = Q O : C, & demiſſo ex puncto f, ad A O perpendiculo f h, erit etiam A f : f h = A O : Q O. Undè ex æquo. S v : f h = A O : C, ſed (*ex dem.* 487.) T t = P l = B × PO × P r × $\sqrt{\text{DHVF}}$, adeoque in loco S, S v = B × A O × f h × $\sqrt{\text{DHES}}$, ergo, S v : f h = $B \times \text{AO} \times \sqrt{\text{DHES}} : 1$ = AO : C, proindèque $B = \frac{1}{C\sqrt{\text{DHES}}}$, & $B^2 = \frac{1}{CC \times \text{DHES}}$. Quo valore in ſuperioribus æquationibus (487) ſubſtituto, invenitur POp $= \frac{C \times \text{TG} \times \text{Pr} \times \sqrt{\text{DHES}}}{2\sqrt{\text{PO}^2 \times \text{DHVF} - CC \times \text{DHES}}}$ & OXY $= \frac{C \times \text{AO}^2 \times \text{TG} \times \text{Pr} \times \sqrt{\text{DHES}}}{2\text{PO}^2 \times \sqrt{\text{PO}^2 \times \text{DHVF} - CC \times \text{DHES}}}$.

Harum formularum ope, nullâ ampliùs habitâ ratione circelli ejuſque projectionis ſellipſeos, deſcribi poteſt veſtigium A P p, & ex dato tempore inveniri locus P, (*ut in prop.* 41). Cùm autem trajectoria S T R, ſit linea duplicis curvaturæ ad promovendam difficilem theoriam motuum in ſuperficiebus curvis, quam hic aperuit NEWTONUS, non parum adjumenti conferre poterit tractatus quem de *lineis duplicis curvaturæ* an. 1731. Pariſiis edidit Clariſſimus Geometra D. *Clairaut.* Horum motuum in conoide parabolico, cono, & cylindro exempla dabimus.

489. *Exemplum* 1. Sit (*vid. fig. not.* 487.) curva B S K parabola cujus latus rectum $= l$, dicatur A O $= r$, K C $= a$, D C $= b$, T N, ſeu P O $= x$, & proinde P r $= dx$, erit ex naturâ parabolæ, N K $= \frac{x^2}{l}$, N G $= \frac{2x^2}{l}$, adeóque T G$^2 = \frac{4x^4 + llxx}{ll}$, & T G $= \frac{x\sqrt{4xx + ll}}{l}$, quarè ſi in ſuperioribus formulis (488) ponatur $C \times \sqrt{\text{DHES}} = pp$, erit P O p $= \frac{p^2\, x\, dx \sqrt{4xx + ll}}{2l\sqrt{x^2 \times \text{DHVF} - p^4}}$, & O X Y $= \frac{p^2 r^2\, dx \sqrt{4xx + ll}}{2lxx\sqrt{x^2 \times \text{DHVF} - p^4}}$. Sit vis centripeta ut diſtantia à centro C directè, hoc eſt, in loco quovis T, vel F ſit ut T C ſeu F C, & curva H E V in rectam H e v C mutabitur, & poſitâ D H $= q$, erit D C (b) : F C ſeu T C = D H (q) : F u $= \frac{q \times \text{TC}}{b}$. Quarè cum ſit area D H u F = D H C — F u C $= \frac{1}{2}qb - \frac{1}{2}$ FC × Fu, erit DHuF $= \frac{qbb - q \times \text{TC}^2}{2b}$. Eſt autem TC^2 = TN^2 + NC^2 $= xx + \overline{\frac{xx}{l} + a}^{\,2} = \frac{x^4 + llxx + 2alxx + llaa}{ll}$. Ergò area D H u F $= \frac{qllbb - qx^4 - qllx^2 - 2qalx^2 - qlla^2}{2bll}$; Si itaque hic valor loco D H V F, in ſuperioribus æquationibus ſubſtituatur, erit

Digitized by Google

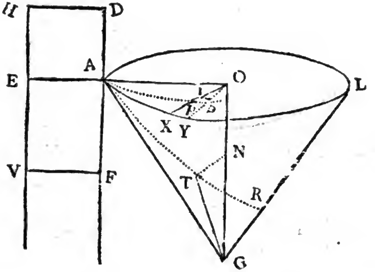
erit $OPp = \frac{p^2 x dx \sqrt{4bxx + bll}}{\sqrt{2qllbbx^2 - 2qx^6 - 2qllx^4 - 4qalx^4 - 2qla^2x^2 - 4bl^2p^4}}$

& $OXY = \frac{p^2 r^2 dx \sqrt{4bxx + bll}}{x\sqrt{2ql^2bx^2 - 2qx^6 - 2ql^2x^4 - 4qalx^4 - 2ql^2a^2x^2 - 4bl^2p^4}}$.

Si igitur ordinatæ db, dc, dicantur y, z, æquationes ad curvas ab, ac, *vid. fig.* 2. *not.* 487.) erunt

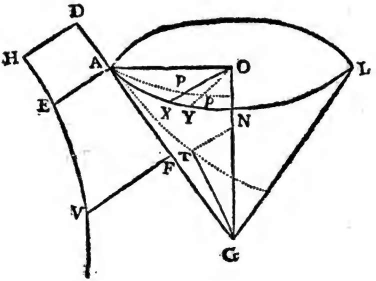
$$yy = \frac{4bp^4x^4 + bp^4llxx}{2ql^2b^2x^2 - 2qx^6 - 2qllx^4 - 4qalx^4 - 2qlla^2x^2 - 4bl^2p^4}$$

$$\& zz = \frac{4bp^4r^4xx + bp^4r^4ll}{2qllbbx^4 - 2qx^8 - 2qllx^6 - 4qalx^6 - 2ql^2a^2x^4 - 4bl^2p^4x^2}.$$

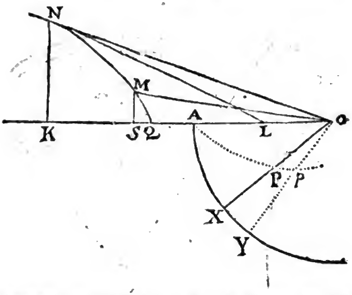


490. *Exemplum* 2. Sit A T G L, ſuperficies coni recti cujus vertex G, axis G O, baſis A X L O, & corpus de loco A egreſſum moveatur in trajectoriâ A T R, vis centripeta conſtans ſit & juxta directionem axi O G parallelam ſemper agat, illamque in locis D, A, F, ſeu T, exponant rectæ D Q, A E, F V æquales & ad rectam D F axi parallelam perpendiculares, erit punctum V in lineâ rectâ H E V, ipſi D F parallelâ. Sit D locus de quo corpus cadere debet ut habeat in loco A velocitatem cum quâ trajectoriam A T R incipit deſcribere, & ex puncto T, ducatur T G, ſuperficiem conicam tangens in T, & T N = O P ad axem G O perpendicularis. Sit $HD = a$, $DA = b$, $OG = e$, $AG = f$, $AO = r$, $PO = TN = x$, $pr = dx$, erit (ex naturâ coni) $AO(r) : AG(f) = TN(x) : TG\left(\frac{fx}{r}\right)$. Et $AO(r) : OG(e) = TN(x) : NG\left(\frac{ex}{r}\right)$. Undè $ON = OG - GN = \frac{er - ex}{r}$, & $DF = DA + ON = \frac{rb + er - ex}{r} = \frac{hr - ex}{r}$ ponendo $b + e = h$. Quarè area DHEA $= ab$, & $DHVF = \frac{rha - aex}{r}$. Et hinc per formulas (488) $OPp = \frac{Cfxdx\sqrt{ab}}{2r\sqrt{haxx - qx^3 - CCab}}$, ponendo $\frac{ae}{r} = q$, & $OXY = \frac{Crfdx\sqrt{ab}}{2x\sqrt{haxx - qx^3 - CCab}}$, undè facilè inveniuntur æquationes ad curvas A B, A C, ut in exemplo 1°.

491.



491. *Exemplum* 3um. Tendat vis centripeta ad coni verticem G, & in triplicatâ ratione diſtantiarum ab illo puncto G decreſcat, ſitque H E V curva ad quam terminantur perpendicula D H, A E, F V vim centripetam in locis ſingulis D, A, F, vel T, exhibentia, cætera verò maneant ut in exemplo ſuperiori. Quoniam $TG = \frac{fx}{r}$ erit vis centripeta in loco T vel F ut $\frac{r^3}{f^3 x^3}$, adeóque ſi fuerit n quantitas data, vis centripeta ſupponi poterit $= \frac{n^4}{x^3}$. Sit D G $= m$, erit (431) area DHVF$= \frac{n^4(mm-xx)}{mmxx} = \frac{kkmm-kkxx}{xx}$, ponendo $\frac{n^4}{mm} = kk$. Quarè ſi dicatur area DHEA$=pp$, erit POp$= \frac{Cpfxdx}{2r\sqrt{kkmm-kkxx-llpp}} = \frac{qxdx}{\sqrt{hh-xx}}$ ponendo $kkmm-CCpp=kkhh$, & $\frac{Cpf}{2rk} = q$. Similiter invenietur O X Y$= \frac{rrqdx}{x\sqrt{hh-xx}}$. Quoniam autem creſcentibus areis A P O, A X O, decreſcit P O, ſeu x, ſcribendum eſt O P p$= \frac{-qxdx}{\sqrt{hh-xx}}$ & O X Y$= \frac{-rrqdx}{x\sqrt{hh-xx}}$. Fiat $\sqrt{hh-xx} = z$, & erit $hh-xx=zz$ & $-xdx=zdz$, & P O p $= qdz$, ſumptiſque fluentibus & additâ conſtanti Q, erit A P O$= qz + Q = q\sqrt{hh-xx} + Q$. Porrò area A P O evaneſcit ubi P O, ſeu x = A O $= r$, quarè $o = q\sqrt{hh-rr} + Q$, & hinc $Q = -q\sqrt{hh-rr}$, proindeque A P O$= q\sqrt{hh-xx} - q\sqrt{hh-rr}$. Et dato igitur tempore quo corpus deſcribit AT, geometricè invenitur longitudo lineæ P O. Ponatur nunc $x = \frac{hk}{y}$ & erit $-dx = \frac{hhdy}{yy}$, $hh-xx = \frac{hhyy-h^4}{y^2}$, $\sqrt{hh-xx} = \frac{h\sqrt{y^2-h^2}}{y}$ atque adeò OXY$= \frac{-rrqdx}{x\sqrt{hh-xx}} = \frac{rrqdy}{h\sqrt{y^2-h^2}}$. Sit $\frac{rrq}{hh} = \frac{1}{2}s$, & erit OXY$= \frac{1}{2}\frac{shdy}{\sqrt{yy-hh}}$. Undè habetur conſtructio ſequens.

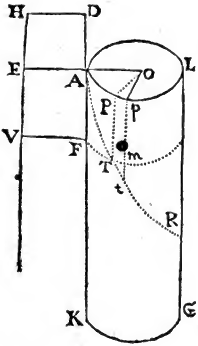


Centro O, ſemiaxe tranſverſo O A Q $= h$, ſemiaxe conjugato $= s$, deſcribatur hyperbola Q M N, ex illius perimetri puncto quovis N, demittatur ad axem O Q, perpendiculum N K, & abſciſſa O K dicatur y, ductâque rectâ N L, quæ hyperbolam tangat in N, & axi occurrat in L, erit (*ex conic.*) O K (y) : O Q (h) $=$ O Q (h) : O L $= \frac{hh}{y} = x$, & ſector hyperbolicus O N Q $= S. \frac{1}{2} \frac{shdy}{\sqrt{hy - hh}}$ (427) atque adeò A X O $=$ O N Q $+$ Q conſtante. Si ponatur x, ſeu $\frac{hh}{y} =$ O A $= r$, hoc eſt $y = \frac{hh}{r}$ evaneſcet area A X O, quare ſi capiatur O S $= \frac{hh}{r}$ & ad axem erigatur perpendiculum S M, hyperbolæ occurrens in M, jungaturque O M, erit $o =$ OMQ $+$ Q, & $Q = -$ OMQ, undè AXO $=$ O N Q $=$ O M Q $=$ O N M. Sumatur itaque ſector circuli O A X $=$ ſectori hyperbolico O N M, & in radio O X capiatur O P $=$ O L, erit P punctum in veſtigio ſeu curvâ A P p. Hinc ſi ex dato tempore quæratur locus T (*vid. fig. ſuper.*) in trajectoriâ T R, inveniatur primum longitudo O P, ſeu O L, tum agatur L N tangens hyperbolam in puncto aliquo N; Deindè capiatur ſector circularis A X O $=$ ſectori hyperbolico O N M, & in radio O X, capiatur O P $=$ O L, ac tandem ex puncto P, erigatur ad planum A O P (*vid. fig. ſuper.*) perpendiculum P T, quod ſuperficiei conicæ occurret in loco quæſito T.

Exempl. 4. Moveatur corpus de loco A per trajectoriam A T R, in ſuperficie concavâ cylindri recti A K G L, in quo ſit baſeos centrum O, manifeſtum eſt veſtigium trajectoriæ A T R, coincidere cum baſeos peripheriâ circulari A P L, quam proindè punctum P, æquabili velocitate deſcribet (*per prop.* 56.) Sit vis centripeta conſtans & per lineas lateri cylindri A K parallelas ſemper agat, dicanturque H D $= a$, D A $= b$, A F $=$ P T $= y$, m t $= dy$, arcus A P $= x$, P p $=$ T m $= dx$, T t $= \sqrt{dx^2 + dy^2}$, erit area D H E A $= ab$, area D H V F $= ab + ay$, velocitas in F vel T $= \sqrt{ab + ay}$, undè tempuſculum quo deſcribitur naſcens T t vel P p erit $= \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{\sqrt{ab + ay}}$. Et ſit data velocitas quâ punctum P deſcribit circulum A P L dicaturque c erit tempuſculum quo deſcribitur P p $= \frac{Pp}{c} = \frac{dx}{c}$; quarè $\frac{dx}{c} =$

$\sqrt{dx^2}$

Digitized by Google



$\frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{\sqrt{ab + ay}}$, & $\frac{dx^2}{cc} = \frac{dx^2 + dy^2}{ab + ay}$, & $abdx^2 + aydx^2 - ccdx^2 = ccdy^2$, & $dx = \frac{cdy}{\sqrt{ab - cc + ay}} = \frac{cdy}{\sqrt{aq + ay}}$, ponendo $ab - cc = aq$. fiat jam $\sqrt{q + y} = z$, $q + y = zz$, $dy = 2zdz$, $\sqrt{aq + ay} = z\sqrt{a}$ erit $dx = \frac{2czdz}{z\sqrt{a}} = \frac{2c}{\sqrt{a}} \times dz$, & ſumptis fluentibus additâ conſtanti Q, erit $x = \frac{2cz}{\sqrt{a}} + Q = \frac{2c\sqrt{q + y}}{\sqrt{a}} + Q$. Ponatur $y = o$, erit etiam $x = o$, adeòque $o = \frac{2c\sqrt{q}}{a} + Q$, & $Q = -\sqrt{\frac{4ccq}{a}}$, undè $x = \sqrt{\frac{4ccq + 4ccy}{a}} - \sqrt{\frac{4ccq}{a}}$. Sit $\frac{4cc}{a} = p$, & $\frac{4ccq}{a} = nn$, erit $x = \sqrt{nn + py} - n$, $xx + 2nx = py$, $y = \frac{xx + 2nx}{p}$. Conceſſâ igitur quadraturâ circuli facilè invenitur trajectoriæ A T R punctum quodvis T capiendo perpendiculum P T ad arcum A P, ut eſt A P + 2 n ad p. Ex tempore autem dato datur arcus A P. Si corporis de loco A egredientis velocitas eadem ſit ac velocitas puncti P in plano baſeos A P L O revolventis erit $cc = ab$, & quoniam ſuppoſuimus $ab - cc = aq$, eſſet $q = o$, & proindè $nn = \frac{4ccq}{a} = o$, atque hinc $y = \frac{xx}{q}$, ſeu $p : x = x : y$. Sive ſcribendo loco p ejus valorem $\frac{4cc}{a}$, in quo loco cc ponatur ab; erit $4b : x = x : y$, hoc eſt, 4 D A ad arcum A P ut is A P ad P T.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LVII. THEOR. XX.

SECTIO XI.

De motu corporum viribus centripetis ſe mutuo petentium.

Hactenus expoſui motus corporum attractorum ad centrum immobile, quale tamen vix extat in rerum naturâ. Attractiones enim fieri ſolent ad corpora; & corporum trahentium & attractorum actiones ſemper mutuæ ſunt & æquales, per legem tertiam: adeo ut neque attrahens poſſit quieſcere neque attractum, ſi duo ſint corpora, ſed (ſ) ambo (per legum corollarium quartum) quaſi attractione mutuâ, circum gravitatis centrum commune revolvantur: & ſi plura ſint corpora, quæ vel ab unico attrahantur, & idem attrahant, vel omnia ſe mutuo attrahant; hæc ita inter ſe moveri debeant, ut gravitatis centrum commune vel quieſcat, vel uniformiter moveatur in directum. Quâ de causâ jam pergo motum exponere corporum ſe mutuo trahentium, conſiderando vires centripetas tanquam attractiones, quamvis fortaſſe, ſi phyſicè loquamur, verius dicantur impulſus. In mathematicis enim jam verſamur; & propterea, miſſis diſputationibus phyſicis, familiari utimur ſermone, quo poſſimus a lectoribus mathematicis facilius intelligi.

PROPOSITIO LVII. THEOREMA XX.

Corpora (t) duo ſe invicem trahentia deſcribunt, & circum commune centrum gravitatis, & circum ſe mutuò, figuras ſimiles.

Sunt (u) enim diſtantiæ corporum à communi gravitatis centro

(ſ) * *Sed ambo (per leg. corol. 4.) quaſi attractione mutuâ* vel ad ſe invicem rectâ lineâ ferantur, vel, ſi ambo vi impreſsâ obliquè projiciuntur, *circum gravitatis centrum commune quieſcens aut uniformiter progrediens revolvantur.*

(t) * *Corpora duo.* Si corpora duo S, P ſe invicem trahentia revolvantur circà commune gravitatis centrum C, pergendo de S ad T & de P ad Q, ſimiles ſunt hæ figuræ quatuor, nimirum PQC, STC, quas corpora S & T circa commune gravitatis centrum C deſcribunt, tum figura P Q T quam corpus P deſcribit circa corpus S ſpectatum tanquam immotum, & figura π T Q, quam S circà P ſimiliter ſpectatum deſcribit.

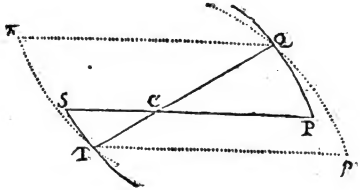
(u) * *Sunt enim diſtantiæ corporum à communi gravitatis centro* QC, CT *reciprocè proportionales corporibus datis* P, S.

(e 2);

Digitized by Google

tro reciprocè proportionales corporibus, atque ideo in datâ ratione ad invicem, & componendo in datâ ratione ad diſtantiam totam inter corpora. Feruntur autem hæ diſtantiæ circum terminum ſuum communem æquali motu angulari, propterea quod in directum ſemper jacentes non mutant inclinationem ad ſe mutuò. Lineæ autem rectæ, quæ ſunt in datâ ratione ad invicem, & æquali

PROP. LVII. THEOR. XX.



(60) *atque ideò in datâ ratione ad invicem, & componendo*, Q C eſt ad Q T in datâ ratione corporis S ad ſummam corporum S + P. *Feruntur autem diſtantiæ* Q C, T C, *circa centrum C terminum ſuum communem æquali motu angulari*, id eſt, angulus Q C P eſt ſemper æqualis angulo T C S propterea quod diſtantiæ Q C, T C in directum ſemper jacent (60.) Quarè (112) duæ figuræ P Q C, S T C ſimiles ſunt. Quod erat primum.

Agatur per T recta T p lineæ S P æqualis & parallela, & ſi corpus S tanquam immotum ſpectetur, motus corporis P quod in Q pervenit idem erit reſpectu corporis S ſeu T, ac ſi corpus P de loco p translatum eſſet in locum Q; eritque Q T ad T p ſeu S P, ut Q C ad C P, & angulus Q T p = Q C P unde figura P Q circa punctum S ut immotum ſpectatum à corpore P deſcripta erit ſimilis figuræ P Q C ideoque & figuræ S T C, ſimili ratiocinio oſtendetur figuram π T Q circa punctum P immotum à corpore S deſcriptam, eſſe ſimilem figuræ S T C ideoque & figuræ P Q C. Quod erat alterum.

Quod forte facilius adhuc intelligetur ſi ponamus in corpore S ſpectatorem qui ſe & lineam S P tanquam immota habeat, in hâc enim hypotheſi, ubi corpus S pervenerit in locum T, linea S P, quæ tanquam immota ſpectatur erit T p ipſi S P æqualis & parallela & ſpectator in T locatus motum corporis P videbit ſub angulo Q T p = Q C P, & ad diſtantiam T Q. Cum igitur ſit ſemper Q C ad C P, ut Q T ad S P, ſeu T p, & angulus Q C P, æqualis angulo Q T p, figura p Q T, ſimilis erit figuræ P Q C, adeóque & figuræ S T C. Pariter ſi per Q agatur Q π æqualis & parallela PS liquet figuram π T Q quam S circa P ſpectatum tanquam immotum deſcribit eſſe ſimilem & æqualem figuræ p Q T quam corpus P, circa S ſpectatum tanquam immotum deſcribit. Patet etiam harum omnium figurarum partes ſimiles eodem tempore deſcribi, ideoque etiam totas figuras æqualibus temporibus percurri.

De Motu Corporum. Liber Primus.

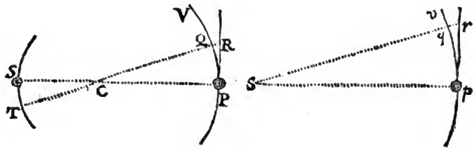
æquali motu angulari circum terminos ſuos feruntur, figuras circum eoſdem terminos in planis, quæ unà cum his terminis vel quieſcunt, vel (a) motu quovis non angulari moventur, deſcribunt omninò ſimiles. Proinde ſimiles ſunt figuræ, quæ his diſtantiis circumactis deſcribuntur. *Q. E. D.*

Prop. LVIII. Theor. XXI.

PROPOSITIO LVIII. THEOREMA XXI.

Si corpora duo viribus quibuſvis ſe mutuo trahunt, & interea revolvuntur circa gravitatis centrum commune: dico quod figuris, quas corpora ſic mota deſcribunt circum ſe mutuò, poteſt figura ſimilis & æqualis, circum corpus alterutrum immotum, viribus iiſdem deſcribi.

Revolvantur corpora *S*, *P* circa commune gravitatis centrum *C*, pergendo de *S* ad *T*, deque *P* ad *Q*. A dato puncto *s* ipſis *SP*, *TQ* æquales & parallelæ ducantur



ſemper *sp*, *sq*; & curva *pqv*, quam punctum *p* revolvendo circum punctum immotum *s* deſcribit, (b) erit ſimilis & æqualis curvis, quas corpora *S*, *P* deſcribunt circum ſe mutuò: proindeque (*per theor.* XX.) ſimilis curvis *ST* & *PQV*, quas eadem corpora deſcribunt circum commune gravitatis centrum *C*: idque quia proportiones linearum *SC*, *CP*, & *SP* vel *sp* ad invicem dantur.

Caſ.

(a) * *Motu quovis non angulari.* Vide Legum coroll. 5. & 6.]

(b) * *Erit ſimilis & æqualis curvis*; ut patet ex demonſtratione propoſitionis ſuperioris.

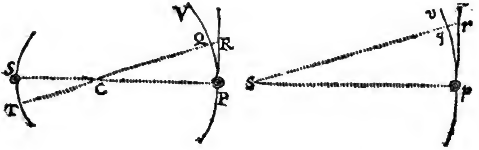
Digitized by Google

Caſ. 1. Commune illud gravitatis centrum C, per legum corollarium quartum, vel quieſcit, vel movetur uniformiter in directum. Ponamus primo, quod id quieſcit, inque s & p locentur corpora duo, immobile in s, mobile in p, corporibus S & P ſimilia & æqualia. Dein tangant rectæ $P R$ & $p r$ curvas $P Q$ & $p q$ in P & p, & producantur $C Q$ & $s q$ ad R & r. Et ob ſimilitudinem figurarum $CPRQ$, $sprq$ erit $R Q$ ad rq ut CP ad sp, ideoque in datâ ratione. Proinde ſi vis, quâ corpus P verſus corpus S, atque ideo verſus centrum intermedium C attrahitur, eſſet ad vim, quâ corpus p verſus centrum s attrahitur, in eâdem illâ ratione datâ; hæ vires æqualibus temporibus attraherent ſemper corpora de tangentibus $P R$, $p r$ ad arcus $P Q$, $p q$ per intervalla ipſis proportionalia $R Q$, $r q$, ideoque vis poſterior efficeret, ut corpus p gyraretur in curvâ $p q v$, quæ ſimilis eſſet curvæ $P Q V$, in quâ vis prior efficit, ut corpus P gyretur; & revolutiones iiſdem temporibus complerentur. At quoniam vires illæ non ſunt ad invicem in ratione $C P$ ad $s p$, ſed (ob ſimilitudinem & æqualitatem corporum S & s, P & p, & æqualitatem diſtantiarum $S P$, $s p$) ſibi mutuò æquales; corpora æqualibus temporibus æqualiter trahentur de tangentibus: & propterea, ut corpus poſterius p trahatur per intervallum majus $r q$, requiritur tempus majus, (c) idque in ſubduplicatâ ratione intervallorum; propterea quod (*per lemma decimum*) ſpatia ipſo motus initio deſcripta ſunt in duplicatâ ratione temporum. Ponatur igitur veloci-

(c) ***Idque in ſubduplicatâ ratione intervallorum.*** Naſcentibus arcubus P q, P Q tempora quibus deſcribuntur intervalla r q, R Q ſunt in ſubduplicatâ ratione eorumdem intervallorum, per *L.m.* X. Quarè ſi velocitates uniformes quibus ſimiles arcus naſcentes p q, P Q æqualibus viribus centripetis deſcribuntur, dicantur V, v, tempora T, t, erit $T^2 : t^2 = rq : RQ = sp : CP = pq : PQ$, eſt verò (5) $V : v = \frac{pq}{T} : \frac{PQ}{t}$ ſive ut $\frac{T^2}{T} : \frac{t^2}{t}$, adeóque $V : v = T : t = \sqrt{sp} : \sqrt{CP}$. Itaque corpora P, p, viribus æqualibus ſemper attracta, circum centra quieſcentia C, s, naſcentes figuras ſimiles P Q, p q, adeóque & figuras quævis ſimiles P Q V, p q u, deſcribent temporibus & velocitatibus quæ erunt in ſubduplicatâ ratione diſtantiarum ſimilium C P, s p. Eſt autem (*ex Dem.*) figura p q u, ſimilis & æqualis figuræ quam corpus P, circum corpus mobile S, (ſpectatum tanquam immotum, ut in propoſitione ſuperiori expoſuimus) deſcribit eodem tempore, quo circa centrum C, deſcribit figuram ſimilem P Q V.

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LVIII. Theor XXI.



locitas corporis p eſſe ad velocitatem corporis P in ſubduplicatâ ratione diſtantiæ $s\,p$ ad diſtantiam $C\,P$, eo ut temporibus, quæ ſint in eâdem ſubduplicatâ ratione, deſcribantur arcus $p\,q$, $P\,Q$, qui ſunt in ratione integrâ: Et corpora P, p viribus æqualibus ſemper attracta deſcribent circum centra quieſcentia C & s figuras ſimiles $P\,Q\,V$, $p\,q\,v$, quarum poſterior $p\,q\,v$ ſimilis eſt & æqualis figuræ, quam corpus P circum corpus mobile S deſcribit. *Q. E. D.*

Caſ. 2. Ponamus jam quod commune gravitatis centrum, unà cum ſpatio in quo corpora moventur inter ſe, progreditur uniformiter in directum; & (per legum corollarium ſextum) motus omnes in hoc ſpatio peragentur ut prius, ideoque corpora deſcribent circum ſe mutuo figuras eaſdem ac prius, & propterea figuræ $p\,q\,v$ ſimiles & æquales. *Q. E. D.*

Corol. 1. Hinc corpora duo viribus diſtantiæ ſuæ proportionalibus ſe mutuo trahentia, deſcribunt (*per prop.* X.) & circum commune gravitatis centrum, & circum ſe mutuo, ellipſes concentricas; & vice verſâ, ſi tales figuræ deſcribuntur, ſunt vires (d) diſtantiæ proportionales.

Corol. 2. Et corpora duo, viribus quadrato diſtantiæ ſuæ reciprocè proportionalibus, deſcribunt (*per prop.* XI. XII. XIII.) &

(d)* *Diſtantiæ proportionales.* Cum enim (*ex Dem.*) corpus p, circà s, & corpora duo P, S, circà commune gravitatis centrum C, & circum ſe mutuò figuras ſimiles vi centripetâ æquali deſcribant, ſitque (*per prop.* X.) figura p q u, ellipſis cujus centrum S, liquet veritas corollarii.

Digitized by Google

& circum commune gravitatis centrum, & circum ſe mutuo, ſectiones conicas umbilicum habentes in centro, circum quod figuræ deſcribuntur. Et vice verſâ, ſi tales figuræ deſcribuntur, vires centripetæ ſunt quadrato diſtantiæ reciprocè proportionales.

Corol. 3. Corpora duo quævis circum gravitatis centrum commune gyrantia, radiis & ad centrum illud & ad ſe mutuò ductis, (c) deſcribunt areas temporibus proportionales.

PROPOSITIO LIX. THEOREMA XXII.

Corporum duorum S *&* P, *circa commune gravitatis centrum* C *revolventium, tempus periodicum eſſe ad tempus periodicum corporis alterutrius* P, *circa alterum immotum* S *gyrantis, & figuris, quæ corpora circum ſe mutuo deſcribunt, figuram ſimilem & æqualem deſcribentis, in ſubduplicatâ ratione corporis alterius* S, *ad ſummam corporum* S + P.

Namque, ex demonſtratione ſuperioris propoſitionis, tempora, quibus arcus quivis ſimiles *P Q* & *p q* deſcribuntur, ſunt in ſubduplicatâ ratione diſtantiarum *C P* & *S P* vel *s p*, hoc eſt, in ſubduplicatâ ratione corporis *S* ad ſummam corporum *S* + *P*. Et componendo, ſummæ temporum quibus arcus omnes ſimiles *P Q* & *p q* deſcribuntur, hoc eſt, tempora tota, quibus figuræ totæ ſimiles deſcribuntur, ſunt in eâdem ſubduplicatâ ratione. *Q. E. D.*

PRO-

(c) * *Deſcribunt areas temporibus proportionales.* Nam tempora quibus deſcribuntur areæ quævis ſimiles s p q, C P Q, & s p u, C P V, ſunt ſemper in datâ ratione, nimirum, ſubduplicatâ diſtantiarum ſimilium s p, C P (*ex Dem.*) & proindè tempus quo deſcribitur area s p q, eſt ad tempus quo deſcribitur area s p u, ut tempus quo deſcribitur area C P Q, ad tempus quo deſcribitur area C P V; ſed (*per prop.* 1.) tempora quibus deſcribuntur areæ s p q, s p u, ſunt areis illis adeóque & areis ſimilibus C P Q, C P V proportionalia, ergò areæ C P Q, C P V ſunt ut tempora quibus deſcribuntur; & quoniam areæ quas corpora S, P circum centrum gravitatis deſcribunt ſimiles ſunt areis quas iiſdem temporibus deſcribunt circum ſe mutuò, erunt quoque areæ iſtæ proportionales temporibus quibus deſcribuntur.

Digitized by Google

PROP. LX. THEOR. XXIII.

PROPOSITIO LX. THEOREMA XXIII.

Si corpora duo S *&* P, *viribus quadrato diſtantiæ ſuæ reciprocè proportionalibus, ſe mutuò trahentia, revolvuntur circa gravitatis centrum commune: dico quod ellipſeos, quam corpus alterutrum* P *hoc motu circa alterum* S *deſcribit, axis principalis erit ad axem principalem ellipſeos, quam corpus idem* P *circa alterum quieſcens* S *eodem tempore periodico deſcribere poſſet, ut ſumma corporum duorum* S + P *ad primum duorum mediè proportionalium inter hanc ſummam & corpus illud alterum* S.

(f) Nam ſi deſcriptæ ellipſes eſſent ſibi invicem æquales, tempora periodica (*per theorema ſuperius*) forent in ſubduplicatâ ratione corporis S ad ſummam corporum $S+P$. Minuatur in hâc ratione tempus periodicum in ellipſi poſteriore, & tempora periodica evadent æqualia; ellipſeos autem axis principalis (*per prop.* XV.) minuetur in ratione, cujus hæc eſt ſeſquiplicata, id eſt in ratione, cujus ratio S ad $S+P$ eſt triplicata; ideoque erit ad axem principalem ellipſeos alterius, ut primum duorum mediè proportionalium inter $S+P$ & S ad $S+P$. Et inversè, axis principalis ellipſeos circa corpus mobile deſcriptæ erit ad axem principalem deſcriptæ circa immobile, ut $S+P$ ad primum duorum mediè proportionalium inter $S+P$ & S. *Q. E. D.*

PRO-

(f) * *Nam ſi deſcriptæ ellipſes &c.* Axis principalis ellipſium æqualium, quas corpora S, P circum ſe mutuò deſcribunt (*ut ad prop.* 57. *expoſuimus*) æqualis eſt axi principali ellipſeos, pqu, quam corpus p vel P, circà corpus s vel S, reverâ immotum deſcribit (*ut in prop.* 58. Hic axis dicatur A tempus periodicum quod in ellipſibus quatuor quas corpora S, P circum C & circum ſe mutuò deſcribunt (*ut in prop.* 57.) idem eſt, dicatur t, tempus periodicum in ellipſi pqu, quam corpus p, vel P, circà corpus S, vel s, reverâ immotum (*ut in prop.* 58.) deſcribit dicatur T, ſitque X axis principalis ellipſeos quam corpus idem P, vel p, circà alterum S vel s reverâ immotum (*ut in prop.* 58.) deſcribere poſſet tempore periodico t, erit (*per prop.* 59.) $T^2 : t^2 = S+P : S$. & (*per prop.* 15.) $T^2 : t^2 = A^3 : X^3$, quarè $A^3 : X^3 = S+P : S$. Jam ſi capiantur duæ quantitates B, C mediæ proportionales inter $S+P$ & S, erit $S+P$ ad S in ratione triplicatâ $S+P$, ad B, hoc eſt $S+P : S = \overline{S+P}^3 : B^3$, ac proindè $A^3 : X^3 = \overline{S+P}^3 : B^3$, ideoque $A : X = S+P : B$. Q. E. D.

PROPOSITIO LXI. THEOREMA XXIV.

Si corpora duo viribus quibuſvis ſe mutuo trahentia, neque alias agitata vel impedita, quomodocunque moveantur, motus eorum perinde ſe habebunt, ac ſi non traherent ſe mutuò, ſed utrumque à corpore tertio in communi gravitatis centro conſtituto viribus iiſdem traheretur: Et virium trahentium eadem erit lex reſpectu diſtantiæ corporum à centro illo communi atque reſpectu diſtantiæ totius inter corpora.

Nam vires illæ, quibus corpora ſe mutuo trahunt, tendendo ad corpora, (g) tendunt ad commune gravitatis centrum intermedium; ideoque eædem ſunt, ac ſi à corpore intermedio manarent. *Q. E. D.*

Et quoniam datur ratio diſtantiæ corporis utriuſvis à centro illo communi ad diſtantiam inter corpora, dabitur ratio cujuſvis poteſtatis diſtantiæ unius ad eandem poteſtatem diſtantiæ alterius; ut ratio quantitatis cujuſvis, quæ ex unâ diſtantiâ & quantitatibus datis utcunque derivatur, ad quantitatem aliam, quæ ex alterâ diſtantiâ, & quantitatibus totidem datis, datamque illam diſtantiarum rationem ad priores habentibus ſimiliter derivatur. Proinde ſi vis, quâ corpus unum ab altero trahitur, ſit directè vel inversè ut diſtantia corporum ab invicem; vel ut quælibet hujus diſtantiæ poteſtas; vel denique ut quantitas quævis ex hâc diſtantiâ & quantitatibus datis quomodocunque derivata: erit eadem vis, quâ corpus idem ad commune gravitatis centrum trahitur, directè itidem vel inversè ut corporis attracti diſtantia à centro illo communi, vel ut eadem diſtantiæ hujus poteſtas, vel denique ut quantitas ex hâc diſtantiâ & analogis quantitatibus datis ſimiliter derivata. (h) Hoc eſt, vis trahentis eadem erit lex reſpectu diſtantiæ utriuſque. *Q. E. D.*

PRO-

(g) * *Tendunt ad commune gravitatis centrum*, eſt enim communis interſectio omnium rectarum quæ corpora revolventia jungunt, & ſecundum quas, vires quibus corpora ſe mutuò trahunt, diriguntur.

(h) * *Hoc eſt vis trahentis eadem erit lex &c.* Sit (*in fig. prop.* 58.) $TQ = x$; $CQ = y$, & x ad y in ratione datâ a ad b, ſeu $x = \frac{ay}{b}$, vis quâ corpora S, P

in

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXII. Probl. XXXVIII.

PROPOSITIO LXII. PROBLEMA XXXVIII.

Corporum duorum, quæ viribus quadrato diſtantiæ ſuæ reciprocè proportionalibus ſe mutuo trahunt, ac de locis datis demittuntur, determinare motus.

Corpora (*per theorema noviſſimum*) perinde movebuntur; ac ſi à corpore tertio in communi gravitatis centro conſtituto traherentur; & centrum illud ipſo motus initio quieſcet per hypotheſin; & propterea (*per legum corol.* 4.) ſemper quieſcet. Determinandi ſunt igitur motus corporum (*per prop.* XXV.) perinde ac ſi à viribus ad centrum illud tendentibus urgerentur, & habebuntur motus corporum ſe mutuò trahentium. *Q. E. I.*

PROPOSITIO LXIII. PROBLEMA XXXIX.

Corporum duorum quæ viribus quadrato diſtantiæ ſuæ reciprocè proportionalibus ſe mutuo trahunt, deque locis datis, ſecundum datas rectas, datis cum velocitatibus exeunt, determinare motus.

([i]) Ex datis corporum motibus ſub initio, datur uniformis motus centri communis gravitatis, ut & motus ſpatii, quod unà cum hoc centro movetur uniformiter in directum, nec non corporum motus initiales reſpectu hujus ſpatii. Motus autem ſubſequentes (per legum corollarium quintum, & theorema noviſſi-

in locis T, Q ſe mutuò trahunt ſit ut x^m; erit $x^m = \frac{a^m y^m}{b^m}$, adeóque eadem vis etiam ut x^m, ob datam rationem a^m, ad b^m, cumque vis quâ corpora ſe mutuò trahunt æqualis ſit vi quâ ad commune gravitatis centrum C urgentur, erit quoque vis ad C tendens ut y^m. Sit nunc vis quâ corpora ſe mutuò trahunt ut $cx^n + ex^m$, & c, e quantitates datæ, erit $cx^n + ex^m = \frac{ca^n y^n}{b^n} + \frac{ea^m y^m}{b^m}$, ideóque vis ad C tendens ut $\frac{ca^n y^n}{b^n} + \frac{ea^m y^m}{b^m}$

([i]) * *Ex datis corporum motibus abſolutis ſub initio, datur uniformis motus abſolutus centri communis gravitatis* (67, 68, 69) *& hinc datur motus ſpatii quod unà cum hoc centro* & eàdem cum illo celeritate *moveretur uniformiter in directum, nec non corporum motus initiales reſpectu hujus ſpatii.*

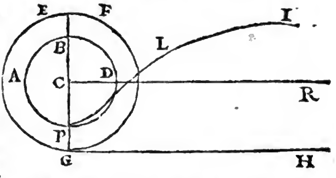
Digitized by Google

viſſimum) perinde fiunt in hoc ſpatio, ac ſi ſpatium ipſum unà cum communi illo gravitatis centro quieſceret, & corpora non traherent ſe mutuo, ſed à corpore tertio ſito in centro illo traherentur. Corporis igitur alterutrius in hoc ſpatio mobili, de loco dato ſecundum datam rectam, datâ cum velocitate exeuntis, & vi centripetâ ad centrum illud tendente correpti, (k) determinandus eſt motus per problema nonum & viceſimum ſextum : & (l) habebitur ſimul motus corporis alterius circum idem centrum. (m) Cum hoc motu componendus eſt uniformis ille ſyſtematis ſpatii & corporum in eo gyrantium motus progreſſivus ſupra inventus, & habebitur motus abſolutus corporum in ſpatio immobili. *Q. E. I.*

(k) * *Determinandus eſt motus per probl. 9.* ſi corpora projiciantur ſecundùm directionem quæ cum eorum diſtantia non coincidat, & *per probl. 26.* ſi coincidat directio projectionis cum diſtantiâ corporum.

(l) * *Et habebitur ſimul motus corporis alterius* è regione, ſi ex corpore cujus locus inventus eſt, per centrum gravitatis commune duorum, agatur recta quæ ità determinetur ut ſit corpus cujus locus quæritur ad corpus aliud ut diſtantia data hujus à centro gravitatis communi ad eam rectam, in extremo hujus rectæ erit locus corporis quæſitus (60).

(m) 493. *Cum hoc motu componendus eſt &c.* In hypotheſi hujus problematis, corpora duo circà commune gravitatis centrum ceu umbilicum ſectiones conicas deſcribunt (*per cor. 2. prop. 58.*) & ſatis eſt (ex notâ ſuperiori) unius corporis motum determinare. Itaque, exempli gratia, corpus P circulum P A B D uniformiter deſcribat intereadum circuli centrum C, cum ipſius circuli plano æquabiliter movetur per rectam C R diametro P B perpendicularem, ſitque ſemper circuli planum mobile in plano hujus ſchematis immoto. In linea C P capiatur C G ad C P in ratione velocitatis centri C per lineam C R progredientis, ad velocitatem corporis P in circuli peripheriâ revolventis, rota G E F centro C & radio C G deſcripta ſuper regulam G H ad G C normalem progrediatur revolvendo circà axem ſuum, & punctum P in plano circuli G E F immotum deſcribet intereà trochoidem P L I quæ erit trajectoria quam corpus P motu abſoluto deſcribit, (ut patet ex *prop. 31. & not. 367*). Hâc enim ratione centrum C percurret ſpatium C R = G H = ſemiperipheria rotæ G E F, eodem tempore quo punctum P revolvetur per totam ſemiperipheriam P A B ; eritque proindè velocitas centri C per lineam C R ad velocitatem puncti vel corporis P in peripheriâ circuli P A B ut ſemirota ad ſemicirculum, hoc eſt, ut radius C G ad radium C P. Hinc ſi velocitas centri C æqualis ſit ve-

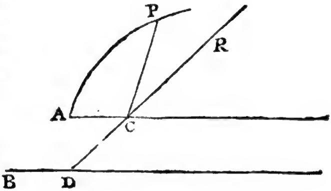


locitati corporis P in circulo ſuo revolventis, trochois P L I erit cyclois vulgaris ; ſi velocitas centri C major extiterit, erit P L I trochois oblongata, ſi velocitas centri C minor, erit P L I trochois decurtata.

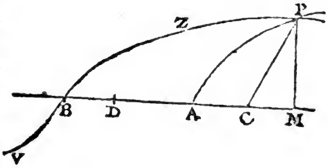
DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

PROP. LXIII. PROBL. XXXIX.

Sit nunc AP ſectio quævis conica cujus vertex A, umbilicus ſeu virium & gravitatis commune centrum C, axis tranſverſus AC, centrum C uniformiter moveatur in rectâ DR poſitione datâ, & cum illo planum curvæ APC, itâ tranſferatur in plano hujus ſchematis immoto, ut axis AC, rectæ BD, poſitione datæ ſit ſemper parallelus. Dum corpus P in curvâ AP revolvens eſt in vertice A, ſit C in D & A in B, ex datâ velocitate uniformi centri C in lineâ DR, dabitur ſpatium DC quod centrum illud C dato tempore deſcribit, nec non poſitio curvæ AP, capiatur (per *prop.* 30. vel 31. *ejuſve ſcholium*) area APC rectæ datæ DD ſeu tempori propartionalis & obtinebitur locus abſolutus corporis P, hoc eſt, punctum trajectoriæ quam corpus P in plano hujus ſchematis immoto deſcribit.



Sit AP parabola, & umbilicus C, cum plano APC uniformi motu progrediatur in axe BC, dum corpus P eſt in vertice parabolæ A, ſit umbilicus C in D & vertex A in B, & trajectoria BZP, quam corpus P, in plano hujus chartæ immoto deſcribit, erit parabola ſecundi generis quæ cubica dici ſolet. Nam ſit AC, ſeu BD $= p$, & proindè parabolæ AP, latus rectum $= 4p$ (*per theor.* 2um. *de parabola*). PM ad axem AB ordinatim applicatâ $= y$, BM $= x$, erit (ex naturâ Parabolæ, *per theor.* 1um. de Parabolâ) $AM = \frac{yy}{4p}$, adeóque $BA = DC = x - \frac{yy}{4p} = \frac{4px - yy}{4p}$, CM (ſive AM—AC) $= \frac{yy - 4pp}{4p}$. Porrò (ex *Archimedis prop.* 17. *de quadr. Parab. quæ eſt theor.* 4um. *de parabolâ*) area APM $= \frac{2}{3}$ AM×PM $= \frac{2y^3}{12p}$, area trianguli CPM $= \frac{1}{2}$ CM × PM $= \frac{y^3 - 4ppy}{8p}$; undè area APC = APM — CPM $= \frac{y^3 + 12ppy}{24p}$. Eſt autem area APC, tempori quo deſcribitur proportionalis, ſeu ut linea DC vel BA $= \frac{4px - yy}{4p}$, quarè ſi fuerit $\frac{a}{b}$ quantitas conſtans, erit $\frac{y^3 + 12ppy}{24p} = \frac{4apx - ayy}{24p}$, hoc eſt $y^3 + ayy + 12ppy = 4apx$, æquatio ad parabolam cubicam BZP, quæ crura habet contraria BZ, BV in infinitum progredientia.



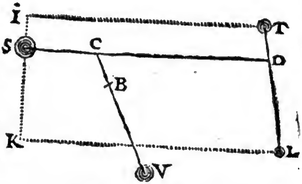
PRO-

Digitized by Google

PROPOSITIO LXIV. PROBLEMA XL.

Prop. LXIV. Probl. XL.

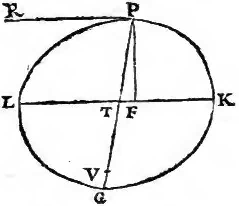
Viribus quibus corpora ſe mutuo trahunt creſcentibus in ſimplici ratione diſtantiarum à centris: requiruntur motus plurium corporum inter ſe.



Ponantur primo corpora duo *T* & *L* commune habentia gravitatis centrum *D*. Deſcribent hæc (*per corrollarium primum theorematis* 21.) ellipſes centra habentes in *D*, quarum magnitudo (n) ex problemate v. innoteſcit.

Trahat jam corpus tertium *S* priora duo *T* & *L* viribus acceleratricibus *ST*, *SL*, & ab ipſis viciſſim trahatur. Vis *ST*, (*per legum corol.* 2.) reſolvitur in vires *SD*, *DT*; & vis *SL* in vires *SD*, *DL*. Vires (o) autem *DT*, *DL*, quæ ſunt

(n) 494. *Ex problemate* 5. *innoteſcit.* Si enim corpus aliquod de loco dato P exeat cum datâ velocitate & ſecundum datam directionem PR ut ellipſim PLGK, circà centrum T datum deſcribat, recta PR poſitione datâ ellipſim tanget in P, ideóque diameter LK, ipſi PR parallela (*prop.* 32. Lib. I. Conic. *Apoll.* ſive *Lem. IV. de Conic. & Theor. I. de Ell.*) dabitur poſitione. Prætereà, ſi ex puncto P ad diametrum LK demittatur perpendiculum PF, erit vis centripeta data quâ corpus verſus T urgetur ſecundum directionem PT ad partem vis illius quæ juxtà directionem PF, agit, ut PT ad PF, proindèque pars illa vis centripetæ dabitur. Datâ autem vi centripetâ juxtà directionem PF urgente, datâque corporis de loco P exeuntis velocitate in lineâ PR, ad PF perpendiculari, dabitur radius circuli ellipſim oſculantis in P, quam corpus P cum hâc velocitate atque vi centripetâ poteſt deſcribere (199,) & hinc dabitur altera diameter conjugata



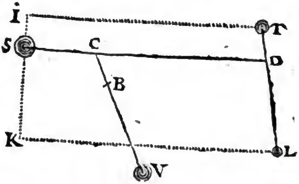
LK; & ellipſis deſcribi poterit (vide *Probl. de Ellipſi* p. 130).

(o) * *Vires autem* DT, DL, *quæ ſunt ut ipſarum ſumma* TL *&c.* Eſt enim DT ad TL in ratione datâ corporis L ad ſummam corporum T + L, & DL ad TL, in ratione datâ corporis T ad ſummam corporum T + L (60); quarè vires DT, DL, in quâcumque poſitione corporum T & L, ſunt ut TL.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXIV. PROBL. XL.

ſunt ut ipſarum ſumma *T L*, atque ideo ut vires acceleratrices quibus corpora *T* & *L* ſe mutuo trahunt, additæ his viribus corporum *T* & *L*, prior priori & poſterior poſteriori, componunt vires diſtantiis *D T* ac *D L* proportionales, ut prius, ſed viribus prioribus majores; ideoque (*per corol.* 1. *prop.* x. & *corol.* 1. & 8. *prop.* IV.) efficiunt ut corpora illa deſcribant ellipſes ut prius, ſed motu celeriore. Vires reliquæ acceleratrices *S D* & *S D*, (p) actionibus motricibus $SD \times T$ & $SD \times L$, quæ ſunt ut corpora, trahendo corpora illa æqualiter & ſecundum lineas *T I*, *L K*, ipſi *D S* parallelas, nil mutant ſitus eorum ad invicem, ſed faciunt ut ipſa æqualiter accedant ad lineam *I K*; quam ductam concipe per medium corporis *S*, & lineæ *D S* perpendicularem. Impedietur autem iſte ad lineam *I K* acceſſus (q) faciendo ut ſyſtema corporum *T* & *L* ex unâ parte, & corpus *S* ex alterâ, juſtis cum velocitatibus, gyrentur circa commune gravitatis centrum *C*. (r) Tali motu corpus *S*, eo quod ſumma virium motricium $SD \times T$ & $SD \times L$, diſtantiæ *C S* proportionalium, tendit verſus centrum *C*, deſcribit ellipſin circa idem *C*;



(p) * *Actionibus motricibus* $S\bar{D} \times T$; & $SD \times L$ (per def. 8. & not. 12.) *quæ ſunt ut corpora, trahendo corpora illa æqualiter* ob æqualem vim acceleratricem S D, ut fit in corporibus gravibus, quæ licet maſſis inæqualia, vi tamen gravitatis acceleratrice, cadendo æqualiter accelerantur.

(q) * *Faciendo ut ſyſtema corporum T, & L*, (ſeu D centrum gravitatis commune ipſorum) *ex unâ parte*, & *corpus S ex alterâ, juſtis cum velocitatibus* in dato plano ſecundum directiones parallelas & contrarias impreſſis *gyrentur circà C commune gravitatis centrum trium corporum.*

(r) * *Tali motu corpus S &c.* Corpus S à corporibus T & L trahitur viribus quæ ſunt inter ſe ut $ST \times T$ & $SL \times L$ (*ex hyp.*) & per reſolutionem virium corpus S a corporibus T & L verſus D & C juxtà directionem S D ſeu S C trahitur viribus quæ ſunt inter ſe ut $SD \times T$ & $SD \times L$, hoc eſt, vi quæ eſt ut $SD \times \overline{T + L}$, adeóque ut S D, ob datam corporum ſummam T + L, & ut C S, ob datam rationem S D ad C S, (61). Corpus idem S juxtà directiones oppoſitas ipſis D T, D L parallelas, trahitur viribus quæ ſunt inter ſe ut $DT \times T$ & $DL \times L$, hoc eſt, viribus æqualibus (60) quæ proindè nullam

Digitized by Google

C; & punctum *D*, ob proportionales *CS*, *CD*, deſcri- DE MO-
bet ellipſin conſimilem è regione. Corpora autem *T* & *L* viri- TU COR-
bus motricibus $SD \times T$ & $SD \times L$, prius priore, poſterius poſ- PORUM.
teriore, æqualiter & ſecundum lineas parallelas *TI* & *LK*, ut LIBER PRIMUS.
dictum eſt, attracta, pergent (*per legum corollarium quintum & ſextum*) circa centrum mobile *D* ellipſes ſuas deſcribere, ut PROP. LXIV.
prius. *Q. E. I.* PROBL. XL.

Addatur jam corpus quartum *V*, & (s) ſimili argumento concludetur hoc & punctum *C* ellipſes circa omnium commune centrum gravitatis *B* deſcribere; manentibus motibus priorum corporum *T*, *L* & *S* circa centra *D* & *C*, ſed acceleratis. Et eâdem methodo corpora plura adjungere licebit. *Q. E. I.*

(t) Hæc ita ſe habent, etſi corpora *T* & *L* trahunt ſe mutuo viribus acceleratricibus majoribus vel minoribus quam quibus trahunt corpora reliqua pro ratione diſtantiarum. Sunto mutuæ omnium attractiones acceleratrices ad invicem ut diſtantiæ ductæ in corpora trahentia, & (u) ex præcedentibus facilè deducetur quod corpora omnia æqualibus temporibus periodicis ellipſes varias, circa omnium commune gravitatis centrum *B*, in plano immobili deſcribunt. *Q. E. I.*

PRO-

lam mutationem producunt. Quarè cum ſyſtema corporum T & L, ſeu ipſorum commune centrum gravitatis D, verſus S ſeu C trahatur quoque vi quæ eſt ut SD, ac proindè ut CD (61), patet quod corpus S, ex unâ parte, & punctum D ex alterâ deſcribant circum C ellipſes conſimiles, ſi juſtis cum velocitatibus, ut ſuprà dictum eſt, projiciantur.

(s) * *Simili argumento*, conſiderando corpora T & L tanquam corpus unicum in centro D poſitum, *concludetur* &c.

(t) * *Hæc ità ſe habent.* Nam propoſitionis demonſtratio non ſupponit vires acceleratrices quibus corpora T & L ad diſtantiam datam trahunt corpus S, eſſe æquales viribus acceleratricibus quibus ſe mutuò ad eandem diſtantiam trahunt. Undè manet demonſtratio, etſi corpus S a corpore v. gr. T ad diſtantiam datam trahatur majori vel minori vi acceleratrice quam corpus L ad eandem diſtantiam.

(u) * *Et ex præcedentibus facilè deducetur.* Vis enim ſeu actio acceleratrix, quâ corpus T verſus D trahitur, eſt (*ex Dem. & Hyp.*) ut $TL \times L + TD \times S$, hoc eſt, ut $TD \times \overline{S+T+L}$, ob $TL \times L = TD \times \overline{T+L}$ (60), & vis acceleratrix quâ punctum D versùs C trahitur, eſt (*ex Dem. & Hyp.*) ut $SD \times S$, hoc eſt ut $CS \times S + CD \times S$; ſed (61) $CS \times S = CD \times \overline{T+L}$, adeóque vis acceleratrix quâ punctum D versùs C trahitur, eſt ut $CD \times \overline{T+L+S}$. Quarè vis acceleratrix quâ corpus T versùs D trahitur, eſt ad

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXV. Theor. XXV.

PROPOSITIO LXV. THEOREMA XXV.

Corpora plura, quorum vires decreſcunt in duplicatâ ratione diſtantiarum ab eorundem centris, moveri poſſe inter ſe in ellipſibus; & radiis ad umbilicos ductis areas deſcribere temporibus proportionales quam proximè.

In propoſitione ſuperiore demonſtratus eſt caſus ubi motus plures peraguntur in ellipſibus accuratè. Quo magis recedit lex virium a lege ibi poſitâ, eo magis corpora perturbabunt mutuos motus; neque fieri poteſt, ut corpora, ſecundum legem hic poſitam ſe mutuo trahentia, moveantur in ellipſibus accuratè, niſi ſervando certam proportionem diſtantiarum ab invicem. In ſequentibus autem caſibus non multùm ab ellipſibus errabitur.

Caſ. 1. Pone corpora plura minora circa maximum aliquod ad varias ab eo diſtantias revolvi, tendantque ad ſingula vires abſolutæ proportionales iiſdem corporibus. Et quoniam omnium commune gravitatis centrum (*per legum corol. quartum*) vel quieſcit vel movetur uniformiter in directum, fingamus corpora minora tam parva eſſe, ut corpus maximum nunquam diſtet ſenſibiliter ab hoc centro: & maximum illud vel quieſcet, vel movebitur uniformiter in directum, ſine errore ſenſibili; minora autem revolventur circa hoc maximum in ellipſibus, atque radiis ad idem ductis deſcribent areas temporibus proportionales; (y) niſi quâtenus errores inducuntur, vel per errorem maximi

ad vim acceleratricem quâ punctum D trahitur versùs C, ut TD ad CD, hoc eſt ut diſtantiæ à punctis ad quæ illæ vires diriguntur. Corpus igitur T ad punctum D, & punctum D ad C trahuntur viribus abſolutis æqualibus, hoc eſt, eodem modo ad ſua reſpectivè centra D & C trahuntur quo traherentur, ſi circà idem virium centrum ad diſtantias TD, DC revolverentur, ſed in hoc caſu æqualibus temporibus periodicis ellipſes ſuas deſcriberent (per *cor.* 2. *prop.* X.) ergò & in illo caſu corpus T circà D & punctum D circà C, æqualibus temporibus periodicis ſuas ellipſes deſcribunt. Idem eodem modo demonſtratur, cùm plura ſunt corpora revolventia.

(y) * *Niſi quatenus errores inducuntur &c.* Nam ſi corpus maximum à communi illo gravitatis centro non erraret, nullaque eſſet actio minorum corporum in ſe mutuò, quodlibet exiguum corpus revolveretur in ellipſi circà maximum, atque radiis ad idem ductis deſcriberet areas temporibus proportionales (*per cor.* 2. & 3. *prop.* 58.)

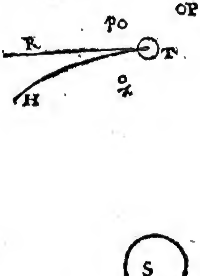
Digitized by Google

ximi à communi illo gravitatis centro, vel per actiones minorum corporum in ſe mutuo. Diminui autem poſſunt corpora minora, uſque donec error iſte, & (z) actiones mutuæ ſint datis quibuſvis minores; atque ideo donec orbes cum ellipſibus quadrent, & areæ reſpondeant temporibus, ſine errore, qui non ſit minor quovis dato. *Q. E. O.*

Caſ. 2. (a) Fingamus jam ſyſtema corporum minorum modo jam deſcripto circa maximum revolventium, aliudve quodvis duorum circum ſe mutuò revolventium corporum ſyſtema progredi uniformiter in directum, & interea vi corporis alterius longè maximi & ad magnam diſtantiam ſiti urgeri ad latus. Et quoniam æquales vires acceleratrices, quibus corpora ſecundum lineas parallelas urgentur, non mutant ſitus corporum ad invicem, ſed ut ſyſtema totum, ſervatis partium motibus inter ſe, ſimul transferatur, efficiunt: manifeſtum eſt quod, ex attractionibus in corpus maximum, nulla prorſus orietur mutatio motus attractorum inter ſe, niſi vel ex attractionum acceleratricum inæqualitate, vel ex inclinatione linearum ad invicem: ſecundum quas attractiones fiunt. Pone ergo attractiones

(z) * *Et actiones mutuæ ſint datis quibuſvis minores* reſpectu actionis corporis maximi in corpora miora; nam cùm corporis vis attractiva abſoluta hic ſupponatur materiæ proportionalis, diminutâ corporis maſſâ, vis attractiva in eâdem ratione minuitur.

(a) * *Fingamus jam corporum minorum*, P, p, π, *modo jam deſcripto circà maximum* T *revolventium ſyſtema progredi uniformiter in directum*, ſeu totius ſyſtematis commune gravitatis centrum T, progredi uniformiter per rectam T R, & *intereà vi corporis alterius longè maximi* S, *& ad magnam diſtantiam ſiti*, *urgeri ad latus* ſecundum rectas P S, p s, π S, T S, atque à rectâ T R retrahi & in curvam T H cogi &c.



PROP. LXV. THEOR. XXV.

nes omnes acceleratrices in corpus maximum eſſe inter ſe reciprocè ut quadrata diſtantiarum; & augendo corporis maximi diſtantiam, donec rectarum ab hoc ad reliqua ductarum differentiæ reſpectu earum longitudinis & inclinationes ad invicem minores ſint, quam datæ quævis; perſeverabunt motus partium ſyſtematis inter ſe ſine erroribus, qui non ſint quibuſvis datis minores. Et quoniam, ob exiguam partium illarum ab invicem diſtantiam, ſyſtema totum ad modum corporis unius attrahitur; movebitur idem hâc attractione ad modum corporis unius; hoc eſt, (b) centro ſuo gravitatis deſcribet circa corpus maximum ſectionem aliquam conicam (*viz.* (c) Hyperbolam vel parabolam attractione languidâ, ellipſin fortiore) & radio ad maximum ducto deſcribet areas temporibus proportionales, ſine ullis erroribus, niſi quas partium diſtantiæ, perexiguæ ſane & pro lubitu minuendæ, valeant efficere. *Q. E. O.*

Simili argumento pergere licet ad caſus magis compoſitos in infinitum.

Corol. 1. (d) In caſu ſecundo, quo propiùs accedit corpus omnium maximum ad ſyſtema duorum vel plurium, eo magis turbabuntur motus partium ſyſtematis inter ſe; propterea quod linearum à corpore maximo ad has ductarum jam major eſt inclinatio ad invicem, majorque proportionis inæqualitas.

Corol. 2. Maximè autem turbabuntur, ponendo quod attractiones acceleratrices partium ſyſtematis, verſus corpus omnium maximum, (e) non ſint ad invicem reciprocè ut quadra-

ta

(b) * *Hoc eſt, centro ſuo gravitatis*, in quo totum ſyſtema gravium P, p, π, T, unitum ac contractum intelligitur (71).

(c) * *Hyperbolam vel parabolam attractione languidâ, ellipſim* vel circulum *fortiore*; manente enim velocitate corporis circà centrum virium S projecti, & circulum vel ellipſim deſcribentis minui debet illius ad centrum S attractio, ut ad eandem diſtantiam poſſit Parabolam deſcribere, & magis adhuc decreſcere illam attractionem oportet, ut deſcribat Hyperbolam (*per cor.* 7. *prop.* 16. *& Dem. prop.* 17).

(d) * *In caſu* 2°. *quo propiùs accedit corpus omnium maximum ad ſyſtema duorum vel plurium corporum, cò magis* recedit à caſu ubi perturbatio eſt nulla, nempè quandò corpus S infinite diſtat, ergò eò *magis turbabuntur motus partium ſyſtematis inter ſe.*

(e) * *Non ſint ad invicem reciprocè &c.* Exempli causâ; Si corpora P, p, diverſis legibus traherentur, P, v. gr. in ratione reciprocâ quadrati diſtantiæ ſuæ à corpore maximo S; p verò in ratione cubi diſtantiæ.

Digitized by Google

ta diſtantiarum à corpore illo maximo; (f) præſertim ſi proportionis hujus inæqualitas major ſit quam inæqualitas proportionis diſtantiarum à corpore maximo. Nam ſi vis acceleratrix, æqualiter & ſecundum lineas parallelas agendo, perturbat motus inter ſe, neceſſe eſt, ut ex actionis inæqualitate perturbatio oriatur, majorque ſit, vel minor pro majore, vel minore inæqualitate. Exceſſus impulſuum majorum, agendo in aliqua corpora & non agendo in alia, neceſſariò mutabunt ſitum eorum inter ſe. Et hæc perturbatio, addita perturbationi, quæ ex linearum inclinatione & inæqualitate oritur, majorem reddet perturbationem totam.

Corol. 3. Unde ſi ſyſtematis hujus partes in ellipſibus, vel circulis ſine perturbatione inſigni moveantur; manifeſtum eſt, quod eædem à viribus acceleratricibus, ad alia corpora tendentibus, aut non urgentur niſi leviſſimè, aut urgentur æqualiter, & ſecundum lineas parallelas quamproximè.

PROPOSITIO LXVI. THEOREMA XXVI.

Si corpora tria, quorum vires decreſcunt in duplicatâ ratione diſtantiarum, ſe mutuo trahant; & attractiones acceleratrices binorum quorumcunque in tertium ſint inter ſe reciprocè ut quadrata diſtantiarum; minora autem circa maximum revolvantur: dico quod interius circa intimum & maximum, radiis ad ipſum ductis, deſcribet areas temporibus magis proportionales, & figuram ad formam ellipſeos umbilicum in concurſu radiorum habentis magis accedentem, ſi corpus maximum his attractionibus agitetur, quam ſi maximum illud vel à minoribus non attractum quieſcat, vel multò minus vel multò magis attractum, aut multò minus aut multò magis agitetur.

Liquet fere ex demonſtratione corollarii ſecundi propoſitionis

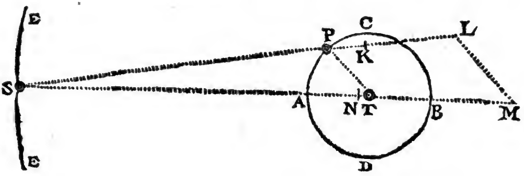
(f) * *Præſertim ſi proportionis hujus inæqualitas &c.* Exempli cauſâ, ſi inæqualitas attractionum acceleratricum in corporibus P, p, major ſit inæqualitate diſtantiarum S P, Sp; Nam ſi illæ inæqualitates attractionum & diſtantiarum eſſent in datâ ratione, evaneſcente diſtantiarum S P, S p differentiâ, quando corpus maximum S longiſſimè diſtat, evaneſceret quoque attractionum acceleratricum inæqualitas.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM LIBER PRIMUS. PROP. LXVI. THEOR. XXVI.

præcedentis; ſed argumento magis diſtincto & latius cogente ſic evincitur.

Caſ. 1. Revolvantur corpora minora *P* & *S* in eodem plano circa maximum *T*, quorum *P* deſcribat orbem interiorem *PAB*, & *S* exteriorem *ESE*. Sit *SK* mediocris diſtantia corporum *P* & *S*; & corporis *P* versùs *S* attractio acceleratrix, in mediocri illâ diſtantiâ, exponatur per eandem. In duplicatâ ratione *SK* ad *SP* capiatur *SL* ad *SK*, & (g) erit *SL* attractio acceleratrix corporis *P* verſus *S* in diſtantiâ quâvis *SP*. Junge *PT*, eique parallelam age *LM* occurrentem *ST* in *M*;



& attractio *SL* reſolvetur (*per legum corol.* 2.) in attractiones *SM*, *LM*. Et ſic urgebitur corpus *P* vi acceleratrice triplici. Vis una tendit ad *T*, & oritur à mutuâ attractione corporum *T* & *P*. Hâc vi ſolâ corpus *P* circum corpus *T*, ſive immotum, ſive hâc attractione agitatum, deſcribere deberet & areas, radio *PT*, temporibus proportionales, & ellipſin cui umbilicus eſt in centro corporis *T*. Patet hoc per *prop.* XI. *&* *corollaria* 2. *&* 3. *theor.* XXI. Vis altera eſt attractionis *LM*, quæ quoniam tendit à *P* ad *T*, ſuperaddita vi priori coincidet cum ipſâ, & ſic faciet ut areæ etiamnum temporibus proportionales deſcribantur *per corol.* 3. *theor.* XXI. At (h) quoniam non eſt quadrato diſtantiæ *PT* reciprocè

(g) * *Et erit SL attractio acceleratrix &c.* Eſt enim (*ex Hyp.*) ut SP^2 ad SK^2 ità attractio acceleratrix in K (quam exhibet linea SK) ad attractionem acceleratricem in P, quam proindè exhibebit linea SL.

(h) 495. *At quoniam non eſt quadrato diſtantiæ PT reciprocè proportionalis.* Eſt enim (*ex conſtr.*) $SK^2 : SP^2 = SL : SK$, adeóque $SK^2 : SP^2 = SL \times SK : SK \times SP = SL : SP$. Sed ob triangula MLS, TPS ſimi-

PROP. LXVI. THEOR. XXVI.

cè proportionalis, componet eâ cum vi priore vim ab hâc proportione aberrantem, idque eo magis, quo major eſt proportio hujus vis ad vim priorem, cæteris paribus. Proinde cum (*per prop.* XI. & *per corol.* 2. *theor.* XXI.) vis, quâ ellipſis circa umbilicum *T* deſcribitur, tendere debeat ad umbilicum illum, & eſſe quadrato diſtantiæ *P T* reciprocè proportionalis; vis illa compoſita, aberrando ab hâc proportione, faciet ut orbis *P A B* aberret à formâ ellipſeos umbilicum habentis in *T*; idque eo magis, quo major eſt aberratio ab hâc proportione; atque ideo etiam quo major eſt proportio vis ſecundæ *L M* ad vim primam, cæteris paribus. Jam vero vis tertia *S M*, trahendo corpus *P* ſecundum lineam ipſi *S T* parallelam, componet cum prioribus vim, quæ non amplius dirigitur à *P* in *T*; quæque ab hâc determinatione tanto magis aberrat, quanto major eſt proportio hujus tertiæ vis ad vires priores, cæteris paribus: atque ideo quæ faciet ut corpus *P*, radio *T P*, areas non amplius temporibus proportionales deſcribat; atque ut aberratio ab hâc proportionalitate tanto major ſit, quanto major eſt proportio vis hujus tertiæ ad vires cæteras. Orbis verò *P A B* aberrationem à formâ ellipticâ præfatâ hæc vis tertia duplici de causâ adaugebit, tum quod non dirigatur à *P* ad T, (i) tum etiam quod non ſit reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ *P T*. Quibus intellectis, manifeſtum eſt, quod areæ temporibus tum maximè fiunt proportionales, ubi vis tertia, manentibus viribus cæteris, fit minima; & quod orbis *P A B* tum maximè accedit ad præfatam formam ellipticam, ubi vis tam ſecunda quam tertia, ſed præcipuè vis tertia fit minima, vi primâ manente.

Exponatur corporis *T* attractio acceleratrix verſus *S* per lineam

ſimilia S L : S P = L M : P T; ergò L M : P T = SK^3 : SP^3, & proindè vis L M eſt ut $\frac{SK^3 \times PT}{SP^3}$, ſeu datâ S K, ut $\frac{PT}{SP^3}$; undè creſcente diſtantiâ P T creſcit vis L M.

(i) 496. *Tum etiam quod non ſit reciprocè proportionalis &c.* Nam P T eſt ad S T ut vis L M eſt ad vim SM, ſed (495) vis L M eſt ut $\frac{SK^3 \times PT}{SP^3}$, & proindè vis S M eſt ut $\frac{SK^3 \times ST}{SP^3}$. Quarè vis S M, datis S K & S T, eſt ut $\frac{1}{SP^3}$.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXVI. THEOR. XXVI.

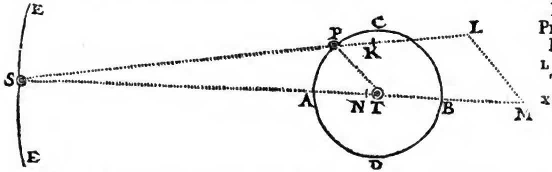
neam *S N*; & ſi attractiones acceleratrices *S M*, *S N* æquales eſſent; hæ, trahendo corpora *T* & *P* æqualiter & ſecundum lineas parallelas, nil mutarent ſitum eorum ad invicem. Iidem jam forent corporum illorum motus inter ſe (*per legum corol.* VI.) ac ſi hæ attractiones tollerentur. Et pari ratione ſi attractio *S N* minor eſſet attractione *S M*, tolleret ipſa attractionis *S M* partem *S N*, & maneret pars ſola *M N*, quâ temporum & arearum proportionalitas & orbitæ forma illa elliptica perturbaretur. Et ſimiliter ſi attractio *S N* major eſſet attractione *SM*, oriretur ex differentiâ ſolâ *M N* perturbatio proportionalitatis & orbitæ. Sic per attractionem *S N* reducitur ſemper attractio tertia ſuperior *S M* ad attractionem *M N*, attractione primâ & ſecundâ manentibus prorſus immutatis: & propterea areæ ac tempora ad proportionalitatem, & orbita *P A B* ad formam præfatam ellipticam tum maxime accedunt, ubi attractio *M N* vel nulla eſt, vel quam fieri poſſit minima; hoc eſt, ubi corporum *P* & *T* attractiones acceleratrices, factæ versùs corpus *S*, accedunt quantùm fieri poteſt ad æqualitatem; id eſt, ubi attractio *S N* non eſt nulla, neque minor minimâ attractionum omnium *S M*, ſed inter attractionum omnium *S M* maximam & minimam quaſi mediocris; hoc eſt, non multo major neque multo minor attractione *S K*. *Q. E. D.*

Caſ. 2. (k) Revolvantur jam corpora minora *P*, *S* circa maximum *T* in planis diverſis; & vis *L M*, agendo ſecundum lineam *P T* in plano orbitæ *P A B* ſitam, eundem habebit effectum ac prius, neque corpus *P* de plano orbitæ ſuæ deturbabit.

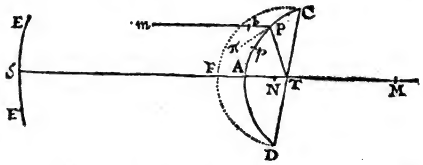
(k) 497. *Caſ.* 2. Planum TESE cum hujus ſchematis plano congruere ſupponatur, orbitæ verò P A B planum alterâ ſui parte, v. gr. C A D ſuprà planum T E S E eminere, & altera parte D B C infrà planum T E S E deprimi intelligatur, linea recta D C communis planorum T E S E & P A B interſectio, linea nodorum dicitur, & illius extrema puncta D & C nodi appellantur. Nodi vel puncta quævis D, C dicuntur eſſe in quadraturis ſeu aſpectum quadratum obtinere reſpectu corporis S, dum ſunt in lineâ rectâ ad S T in puncto T perpendiculari, quod in hoc caſu corpus S & punctum C vel D ſub angulo recto de loco T videantur. Si ſuper lineâ S T erectum intelligatur planum plano T E S E verticale, ſintque puncta A & B in illo plano verticali, A quidem inter corpora S & T; B verò ultra T, punctum A dicitur eſſe in conjunctione, & punctum B in oppoſitione reſpectu corporum S & T; & loca A & B, communi nomine ſyzigiæ vocantur. Motus in longitudinem eſt quo cor-

Digitized by Google

bit. (l) At vis altera *N-M*, agendo ſecundum lineam quæ ipſi *ST* parallela eſt (atque ideo, quando corpus *S* verſatur ex-



tra lineam nodorum, inclinatur ad planum orbitæ *P A B*) præter perturbationem motus in longitudinem jam ante expoſitam, indu-



corpus revolvens P à puncto ſuæ orbitæ dato, v. gr. à puncto C recedit per CPADB: motus in latitudinem eſt is quo corpus revolvens P ad planum immotum T E S E accedit vel ab eo recedit. Si corporum revolventium P & S motus inter ſe conferantur, & utrumque in eandem plagam feratur, v. gr. ab Occidente in Orientem, motus in conſequentia fieri dicitur; ſi verò alterum in unam plagam, alterum in alteram moveatur, motus unius in conſequentia alterius vocatur in antecedentia, v. gr. motus ab Oriente in Occidentem in antecedentia fieri dicetur.

(l) * *At vis altera N M &c.* Si orbitæ P A B (*vid. fig. Newt.*) pars A C B ſuprà planum T E S E elevata, pars verò altera A D B infrà ipſum depreſſa intelligatur, ita ut linea nodorum A B coincidat cum lineâ T S ſitque proinde corpus S in lineâ nodorum productâ, vis N M ut pote quæ in corpus P agit ſecundùm lineam ipſi T S parallelam, jacebit in plano orbitæ P A B, & motum corporis P in latitudinem non perturbabit, hoc eſt, non efficiet ut corpus P ad planum T E S E magis accedat aut ab eo recedat. Verùm ſi corpus S verſatur extrà lineam nodorum, vis N M inducet perturbationem motûs in latitudinem. Sit enim C A D T pars orbitæ quam corpus P excluſâ vi N M deſcriberet ſurpra planum T E S E ſeu C F D eminens, ſit C D linea nodorum, P m recta æqualis & parallela N M, p locus ad quem corpus P excluſâ vi N M tempuſculo minimo perveniret, b locus in lineâ P m ad quem corpus idem P, ſolâ vi N M, eodem tempuſculo traheretur; corpus illud P duabus viribus impulſum, quarum altera agit ſecundum directionem P p in plano C A D altera ſecundum directionem P m ad planum C A D inclinatam, motu compoſito deſcribet lineam P π quæ non eſt in plano C A *D*.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXVI. THEOR. XXVI.

inducet perturbationem motus in latitudinem, trahendo corpus *P* de plano ſuæ orbitæ. Et hæc perturbatio, in dato quovis corporum *P* & *T* ad invicem ſitu, erit ut vis illa generans *MN*, ideoque minima evadet ubi *MN* eſt minima, hoc eſt (uti jam expoſui) ubi attractio *SN* non eſt multo major, neque multo minor attractione *SK*. *Q. E. D.*

Corol. 1. (n) Ex his facilè colligitur, quod, ſi corpora plura minora *P*, *S*, *R*, &c. revolvantur circa maximum *T*, motus corporis intimi *P* minimè perturbabitur attractionibus exteriorum, ubi corpus maximum *T* pariter à cæteris, pro ratione virium acceleratricum, attrahitur & agitatur, atque à cætera ſe mutuo.

Corol. 2. In ſyſtemate vero trium corporum *T*, *P*, *S*, ſi attractiones acceleratrices binorum quorumcunque in tertium ſint ad invicem reciprocè ut quadrata diſtantiarum; corpus *P*, radio *PT*, aream circa corpus *T* velocius deſcribet prope conjunctionem *A* & oppoſitionem *B*, quam prope quadraturas *C*, *D*. Namque vis omnis qua corpus *P* urgetur & corpus *T* non urgetur, quæque non agit ſecundum lineam *PT* accelerat vel retardat deſcriptionem areæ, perinde ut ipſa in conſequentia vel in antecedentia dirigitur. (o) Talis eſt vis *NM*. Hæc in tranſitu corporis *P* à *C* ad *A* tendit in conſequentia, motumque accelerat;

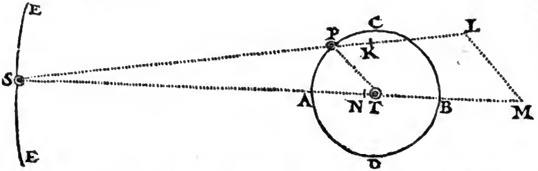
(n) * *Corollarium primum* patet ex demonſtratis cum duo tantum ſunt corpora minora P, S; addatur enim tertium corpus R, eodem modo demonſtrabitur motum corporis intimi P minimè perturbari attractione ipſius R, ubi corpus maximum T pariter attrahitur à corpore illo R, ac corpus P, & ità de pluribus corporibus ratiocinari licet. Quarè ex demonſtratis *facilè colligitur quod ſi &c.*

(o) 498. *Talis eſt vis NM.* Si ſupponamus orbem CADB (*vid. fig. Newt.*) eſſe circulo finitimum, & diſtantiam SD maximam reſpectu radii PT, erit ferè SC = SK = ST = SN, & proindè NM = TM. Porrò corpore P in quadraturis C, D verſante, eſt SC = SP = SK; quarè cum ſit, (*per conſtr. prop. 66.*) SL : SK = $SK^2 : SP^2$, erit in quadraturis SL = SK = SC, & LM coincidet cum CT ſeu PT, adeóque evaneſcet TM ſeu NM. Nulla igitur erit virium SM, SN, in quadraturis differentia, & ideò corpus P reliquis viribus ad centrum T tendentibus agitatum, radio vectore areas ibi deſcribet temporibus proportionales. At ubi corpus P extrà quadraturas eſt in hemiperipheriâ CAD, vis SM major eſt vi SN & corpus P virium differentiâ NM trahitur ſecundùm directionem ipſi TS parallelam.

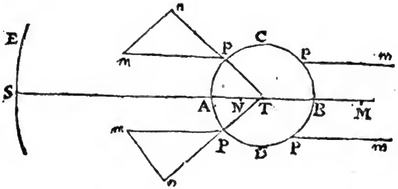
Sit Pm æqualis & parallela ipſi NM, & demiſſo ex m in radium TP productum perpendiculo mn, vis Pm, ſeu NM, in duas vires Pn, nm reſolvitur, quarum altera Pn trahendo ſecundùm directionem radii TP, corporis P motum in longitudinem nihil mutat, nec æquabilem arearum deſcriptionem turbat; altera verò NM, trahendo ſecundum directionem nm, radio TP perpendicularem, hoc eſt, ſecundum directionem tangentis in P, motum in longitudinem accelerat in primo qua-

Digitized by Google

rat; dein uſque ad *D* in antecedentia, & motum retardat; tum in conſequentia uſque ad *B*, & ultimo in antecedentia tranſeundo à *B* ad *C*.



Corol. 3. Et eodem argumento patet quod corpus *P*, cæteris paribus,. velocius movetur in conjunctione & oppoſitione quam in quadraturis. *Co-*



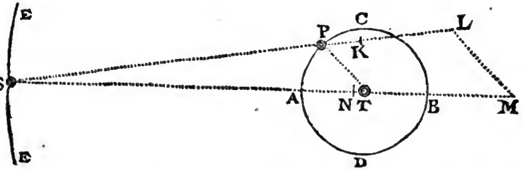
quadrante C A retardat in ſecundo quadrante A D.

In alterâ hemiperipheriâ D B C, vis S M minor eſt vi S N, quoniam corpus P à corpore S longius diſtat quam corpus T, unde ſi vires perturbantes ad ſolum corpus P referantur, virium S M, S N differentia N M negativa ſeu ablatitia erit, aut quod idem eſt, contrariâ directione aget; Fingatur enim corpora T & P urgeri ambo vi S N ubique æquali & ſibi parallela, pergent moveri inter ſe quaſi omnino abeſſet illa vis per Cor. 6. Legum motûs, tum trahatur corpus P vi N M ſecundum directionem oppoſitam vi S N, ex eâ actione mutabuntur motus corporum T & P inter ſe, ſed etiam ex eâ actione vis S N quæ trahere corpus P fingebatur: reducetur ad vim S M quæ eſt vis reverâ agens dum vis S N agit in T, ergo ſi æſtimentur motus corporum T & P inter ſe, quaſi corpus P in hemiperipheriâ D B C urgeretur virium differentia N M in contrariam partem agente, obtinebuntur veræ mutationes motuum corporum T & P inter ſe, ex actionibus S N & S M ortæ, ideoque in poſterum conſiderabitur corpus P in hemiperipheriâ D B C quaſi urgeretur vi N M ſecundum directionem P m ipſi N M parallelam à P. versùs m agente; atque ideo, ſi vis P m in duas vires, ut in alterâ hemiperipheriâ factum eſt, reſolvatur, manifeſtum erit motum in longitudinem in quadrante D B accelerari & in quadrante B C retardari.

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXVI. Theor. XXVI.

Corol. 4. Orbita corporis *P*, cæteris paribus, curvior eſt in quadraturis quam in conjunctione & oppoſitione. Nam corpora velociora minus deflectunt à recto tramite. Et (p) præterea vis *KL*, vel *NM*, in conjunctione & oppoſitione contraria eſt vi, quâ corpus *T* trahit corpus *P*; ideoque vim illam minuit; corpus autem *P* minus deflectet à recto tramite ubi minus urgetur in corpus *T*.



Corol. 5. (q) Unde corpus *P*, cæteris paribus, longius recedet à corpore *T* in quadraturis, quam in conjunctione & oppoſitione. Hæc ita ſe habent excluſo motu excentricitatis. Nam ſi orbita corporis *P* excentrica ſit, excentricitas ejus (ut mox in hujus corol. 9. oſtendetur) evadet maxima ubi apſides ſunt in ſyzygiis; indeque fieri poteſt ut corpus *P*, ad apſidem ſummam appellens, abſit longius à corpore *T* in ſyzygiis quam in quadraturis.

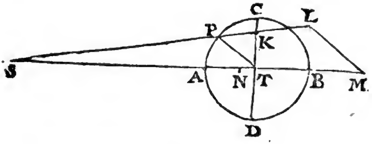
Corol. 6. Quoniam vis centripeta corporis centralis *T*, quâ corpus *P* retinetur in orbe ſuo, augetur in quadraturis per additio-

(p) 499. *Et præterea vis KL &c.* Iiſdem poſitis quæ in notâ ſuperiori, rectæ S L, S M ſunt fere parallelæ, ac proinde T M = P L & L M = P T quam proxime; quare coincidente P cum A & K cum T, fit L M = A T = P K, & N M ſeu T M = P L = A T + K L, & N M — L M = K L, hoc eſt, vis tota perturbans quâ corpus P in conjunctione A à corpore T verſus S retrahitur, eſt ut K L quam proximè; vi enim L M trahitur P verſus T & vi N M à corpore T verſus S retrahitur. Idem eodem modo demonſtratur, corpore P in oppoſitione B poſito.

(q) * *Unde corpus P &c.* Nam cum orbita corporis P curvior ſit in quadraturis C vel D quam in ſyzigiis A & B (*per cor.* 4.) neceſſe eſt, cæteris paribus, ut in ſyzigiis A & B depreſſior ſit quam in quadraturis C & D ad inſtar ellipſeos cujus ſit centrum T axis major C D axis minor A B. Hæc ità ſe habent, ſi, excluſis viribus perturbantibus, orbita corporis P fuerit circulus cujus centrum T.

Digitized by Google

ditionem vis *L M*, ac diminuitur in ſyzygiis per ablationem vis *K L*, &(r) ob magnitudinem vis *K L*, magis diminuitur quam augetur; eſt autem vis illa vi centripeta (*per corol.* 2. *prop.* IV.) in ratione compoſitâ ex ratione ſimplici radii *T P* directè & ratione duplicatâ temporis periodici inverſè: patet hanc rationem compoſitam diminui per actionem vis *K L*; ideoque tempus periodicum, ſi maneat orbis radius *T P*, augeri, idque in ſubduplicatâ ratione, quâ vis illa centripeta diminuitur: auctoque ideo vel diminuto hoc radio, tempus periodicum augeri magis, vel diminui minus quam in radii hujus ratione ſeſquiplicatâ, (*per corol.* VI. *prop.* IV.) Si vis illa corporis centralis paulatim langueſceret, corpus *P* minus ſemper & minus attra-



(r) 500. *Et ob magnitudinem vis K L &c.* Si diſtantia mediocris S K vel S T ingens fuerit reſpectu radii T P orbitæ P A B, in loco quovis corporis P, erit vis L M quam proximè ad vim N m ut ſinus totus ad ſinum triplum diſtantiæ angularis corporis P à quadraturâ proximâ. Nam ob ingentem diſtantiam corporis S (*ex hyp.*) lineæ S L, S M ſunt fere parallelæ ac proinde L M = P T, N M ſeu T M = P L, & S P = S K; cumque ſit S T ad lineam quadraturarum C D perpendicularis, erit etiam S K ad eandem normalis, & exiſtente P T radio, erit P K ſinus anguli P T C, hoc eſt, ſinus diſtantiæ angularis corporis P à quadraturâ proximâ C. Porrò (*per prop.* 66.) $SL : SK = SK^2 : SP^2$, adeoque $SL - SK : SK = SK^2 - SP^2 : SP^2$, hoc eſt, $KL : SK = PK \times SK + SP : SP^2 = PK \times 2SP : SP^2 = 2PK : SP = 2PK : SK$, ob $SK = SP$, & $SK + SP = 2SP$. Quarè erit $KL = 2PK$, & PL ſeu $NM = 3PK$, hoc eſt, vis L M ſeu P T ad vim N M ſeu P L ut ſinus totus P T ad 3 P K triplum ſinum diſtantiæ angularis corporis P à quadraturâ proximâ.

501. *Coroll.* Vis K L in conjunctione A, eſt ad vim ſimilem in oppoſitione B, ut A T ad T B, & ſi orbita P A B circularis fuerit vel circulo finitima, erit vis K L in ſyzigiis duplo major vi L M in quadraturis quam proxime. Nam corpore P in ſyzigiis verſante, ſit $PK = AT = PT = LM$, & proinde N M ſeu P L ſit $= 3LM$, & $KL = 2LM$. Tandem iiſdem poſitis, vis N M maxima eſt in ſyzigiis, quoniam ibi P K ſit maxima, ſeu evadit = A T, & $NM = 3AT$.

Unde ob magnitudinem vis K L (500. 501.) vis centripeta corporis centralis T magis diminuitur quam augetur, ideoque cenſenda eſt pro abſolutè diminutâ ab actione corporis S.

attractum perpetuò recederet longius à centro T; & contra, ſi vis illa augeretur, accederet propius. Ergo ſi actio corporis longinqui S, quâ vis illa diminuitur, (ſ) augeatur ac diminuatur per vices: augebitur ſimul ac diminuetur radius TP per vices; & (t) tempus periodicum augebitur ac diminuetur in ratione compoſitâ ex ratione ſeſquiplicatâ radii, & ratione ſubduplicatâ, quâ vis illa centripeta corporis centralis T, per incrementum vel decrementum actionis corporis longinqui S, diminuitur vel augetur.

Co-

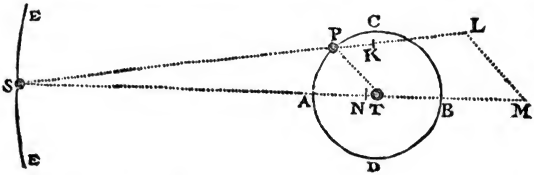
(ſ) * *Augeatur ac diminuatur per vices.* Quoniam vis quâ corpus P trahitur à corpore T, eſt ejuſdem corporis P vis centripeta quâ in orbitâ ſuâ retinetur; ſi remiſſior fuerit vis illa, corpus P minus attractum à centro T longius recederet; & contrà, ſi augeatur vis illa, corpus P ad T propiùs accedet. Auctâ igitur actione corporis S in T per acceſſum corporis T ad S, augetur vis N M, minuiturque vis centripeta corporis P, ac proindè creſcit diſtantia P T. Econtrà autem decreſcente corporis S actione per receſſum corporis T ab S decreſcit quoque N M & augetur corporis P vis centripeta, minorque fit diſtantia P T. Hæc omnia per vices contingent, ubi nempè corpus T corpori S proximius fuerit, augebitur radius P T, ubi verò remotius evadet minuetur radius.

(t) * *Et tempus periodicum augebitur ac diminuetur &c.* Corpus P circà T, excluſâ corporis longinqui S vi ablatitiâ, in circulo P A D revolvatur, & accedente vi illâ ablatitiâ corporis S quæ, ob ingentem diſtantiam S T, parva admodum ſit reſpectu vis quâ corpus P à corpore T trahitur, idem corpus P in orbe fere circulari adhuc revolvetur. Jam verò corporis circulum vel orbem circulo finitimum deſcribentis vis acceleratrix verſus T directa eſt ſemper (*per cor.* 2. *prop.* 4.) in ratione compoſitâ ex ratione ſimplici radii T P qui dicatur R directè & ratione duplicatâ temporis periodici, quod dicatur t inversè, hoc eſt, vis acceleratrix corporis P verſus T, eſt ut $\frac{R}{t^2}$, & manente radio ut $\frac{1}{t^2}$; ſed vis acceleratrix in diſtantiâ datâ eſt ut vis abſoluta corporis trahentis, ergò ſi corporis T trahentis vis abſoluta dicatur V, erit V ut $\frac{1}{t^2}$ & t^2 ut $\frac{1}{V}$, ac t ut $\frac{1}{\sqrt{V}}$ manente radio T P ſeu R. Porrò vis acceleratrix quâ corpus P verſus T trahitur, excluſâ vi ablatitiâ corporis S, eſt reciprocè ut quadratum diſtantiæ T P, hoc eſt directè ut $\frac{1}{R^2}$ (*ex hyp.*) Et quoniam vis ablatitia corporis S, exigua admodum eſt reſpectu vis acceleratricis quâ corpus P à corpore T trahitur, accedente vi illâ ablatitiâ, vis reliqua acceleratrix in corpore P erit adhuc ut $\frac{1}{R^2}$ quam proximè; quare eâdem manente reliquâ vi centripetâ abſolutâ corporis T & mutato utcumque radio R, quadratum temporis periodici t^2 erit ut diſtantiæ cubus R^3. ac proindè t ut $\sqrt{R^3}$. (*per coroll.* 6. *prop.* 4.) hoc eſt tempus periodicum eſt in ſeſquiplicatâ ratione radii T P. Si igitur neque maneat radius idem, neque eadem vis centripeta abſoluta in corpore T, ſed per actionem corporis longinqui S radius augeatur, & vis centripeta minuatur, aut per diminutionem ejus actionis radius minuatur, & vis centripeta augeatur, quadratum temporis periodici t^2 erit in ratione compoſitâ ex binis rationibus ſuprà inventis, nimirum ex ratione $\frac{1}{V}$, & ratione R^3, hoc eſt t^2

erit

Digitized by Google

Corol. 7. Ex (u) præmiſſis conſequitur etiam, quod ellipſeos à corpore *P* deſcriptæ axis, ſeu apſidum linea, quoad motum angularem, progreditur & regreditur per vices, ſed magis ta-



men progreditur, & per exceſſum progreſſionis fertur in conſequentia. Nam vis quâ corpus *P* urgetur in corpus *T* in quadraturis, ubi vis *M N* evanuit, componitur ex vi *L M* & vi cen-

erit ut $\frac{R^3}{V}$, & proindè t ut $\sqrt{\frac{R^3}{V}}$, aut quod idem eſt, tempus periodicum augebitur ac diminuetur in ratione compoſitâ ex ratione $\sqrt{R^3}$, ſeſquiplicatâ radii, & ratione $\frac{1}{\sqrt{V}}$ ſubduplicatâ hujus quâ vis illa centripeta corporis centralis T per incrementum vel decrementum actionis corporis longinqui S diminuitur vel augetur; nam decreſcente *V* creſcit pariter $\frac{1}{V}$, & contrà creſcente *V* in eâdem ratione decreſcit $\frac{1}{V}$.

502. *Scholium.* Hinc ut David Gregorius in ſcholio ad prop. 17. Lib. 4. Aſtronomiæ phyſicæ & geometricæ obſervavit, ſi vis centripeta corporis centralis T aliunde quam per vim extraneam corporis S augeatur & minuatur per vices, ut ſi corporis T vis centripeta abſoluta ſupponatur ipſius maſſæ proportionalis & nova ei addatur & detrahatur per vices materia, atque indè ejus vis abſoluta in eâdem ratione augeatur & minuatur, corpus P in minori & majori orbitâ per vices revolvetur, diminuto & aucto per vices radio T P ejuſque tempus periodicum minuetur & augebitur per vices in ratione compoſitâ ex ratione ſeſquiplicatâ radii directè & ratione ſubduplicatâ vis centripetæ abſolutæ corporis T inversè ut ſuprà. Vis enim acceleratrix compoſita & reſidua quâ corpus T auctum & diminutum per vices trahit corpus P eſt hic præcisè in duplicatâ ratione diſtantiæ inversè, quod in caſu *coroll.* 6. quam proximè tantùm obtinet.

(u) * *Ex præmiſſis.* Si corpus P circum T ellipſim circulo finitimam deſcribat cujus umbilicus ſit T hujus ellipſeos *axis major ſeu apſidum linea* motu angulari circà umbilicum T *per vices progreditur* ſeu fertur in conſequentia *& regreditur*, ſeu in antecedentia movetur; progreditur nempè, dum corpus P eſt in ſyzygiis A & B, regreditur verò dum corpus P eſt in quadraturis C & D, *ſed magis tamen progreditur quam regreditur, & per exceſſum progreſſionis fertur in conſequentia.*

Digitized by Google

centripeta, quâ corpus T trahit corpus P. Vis (y) prior LM, ſi augeatur diſtantia PT, augetur in eâdem fere ratione cum hâc diſtantiâ, & vis poſterior, decreſcit in duplicatâ illâ ratione, ideoque ſumma harum virium (z) decreſcit in minore quam duplicatâ ratione diſtantiæ PT, & (a) propterea (*per corol.* 1. prop. XLV.) efficit ut aux, ſeu apſis ſumma, regrediatur. In conjunctione verò & oppoſitione vis, quâ corpus P urgetur in corpus T, differentia eſt inter vim, quâ corpus T trahit

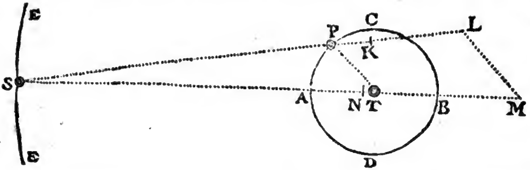
(y) * *Vis prior* L M *&c.* Nam ob ingentem corporis S à corporibus P & T diſtantiam (*ex Hyp.* 5) S L eſt ferè parallela S M, & proinde L M ipſi P T parallela creſcit ubique ut P T, quamproximè; in quadraturis verò L M coincidit cum P T.

(z) * *Decreſcit in minore quam duplicatâ illâ ratione*, hoc eſt, non tantùm minuitur in diſtantiâ majore, nec tantùm augetur in diſtantiâ minore, quantùm minueretur vel augeretur, ſi vis tota acceleratrix, ſeu virium ſumma eſſet ſemper ut quadratum diſtantiæ reciprocè.

(a) * *Et propterea per cor.* 1. *prop.* 45. Sit T P $= A$, & L M $= c \times A$; c verò quantitas data, & vis quâ corpus P verſus T excluſâ corporis S actione urgetur, erit (*ex Hyp.*) ut $\frac{1}{A^2}$, & accedente vi exiguâ L M in quadraturis, harum virium ſumma erit ut $\frac{1}{A^2} + c \times A$, adeóque hæc virium ſumma decreſcet in ratione paulò minore quam in duplicatâ diſtantiæ P T ſeu A. Nam ſi diſtantia variabilis A evadat $b \times A$, ſitque b numerus unitate major, erit vis in ſimplici diſtantiâ A ad vim in diſtantiâ majore $b \times A$, ut $\frac{1}{A^2} + c \times A$, ad $\frac{1}{b^2 A^2} + c b A$, hoc eſt, ut $bb + cbbA^3$ ad $1 + cb^3A^3$ ſive ut $bb \times \overline{1 + cA^3}$ ad $1 \times \overline{1 + cb^3A^3}$ hæc autem ratio minor eſt quàm ratio $\frac{1}{A^2}$ ad $\frac{1}{b^2A^2}$, ſeu b^2 ad 1, cum ($1 + cA^3$) minus ſit quàm $1 + cb^3A^3$. Ponamus itaque virium ſummam eſſe ut $\frac{1}{A^{2-q}}$, ſeu ut A^{-2+q}, & q, numerum poſitivum unitate longe minorem, & quoniam ſi motus totus angularis quo corpus P ab apſide unâ ad eandem apſidem redit, ſit ad motum angularem revolutionis unius ſeu 360°. ut numerus aliquis m ad n vis centripeta tota eſt ut $A^{\frac{nn}{mm}-3}$ (*per cor. prop.* 45.) erit hic $\frac{nn}{mm} - 3 = q - 2$, $\frac{nn}{mm} = 1 + q$, $\frac{n}{m} = \sqrt{1+q}$, & m ad n, ſeu motus totus angularis ab apſide ad eandem apſidem ad 360°. ut 1, ad $\sqrt{1+q}$, adeóque motus ille angularis ab apſide ad eandem $= \frac{360°}{\sqrt{1+q}}$, quarè cum ſit $\sqrt{1+q}$, paulo major unitate, motus totus angularis ab apſide ad eamdem apſidem minor erit 360°. & ideò apſides obviam ibunt corpori P revolventi, ſeu movebuntur in antecedentia, aut quod idem eſt, regrediuntur. Idem facile demonſtratur (*per cor.* 2. *prop.* 45.) vel per exempla tertia. Cum enim vis tota ſit (*ex Hyp.*) ut $\frac{1}{A^2} + c \times A$, erit (loco citato), angulus revolutionis corporis inter apſides ſummam & imam $= 180°. \times \sqrt{\frac{1+c}{1+4c}}$, ſed quoniam c eſt numerus poſitivus, $\frac{1+c}{1+4c}$, eſt numerus unitate minor, ergò angulus revolutionis corporis P inter apſides minor eſt 180°.

Digitized by Google

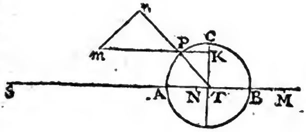
DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXVI. THEOR. XXVI.



trahit corpus P, & vim KL; & differentia illa, ([b]) propterea quod vis KL augetur quamproximè in ratione diſtantiæ PT, decreſcit in majore quam duplicatâ ratione diſtantiæ PT, ([c]) ideoque (*per corol.* 1. *prop.* XLV.) efficit ut aux progrediatur. In ([d]) locis inter ſyzygias & quadraturas pendet motus augis ex causâ utraque conjunctim, adeo ut pro hujus vel alterius exceſſu progrediatur ipſa vel regrediatur. Unde cum vis $K\ L$ in ſyzygiis ſit quaſi duplo major quam vis $L\ M$ in quadraturis, exceſſus erit penes vim KL, transferetque augem in conſequentia. Veritas autem hujus & præcedentis corollarii faci-

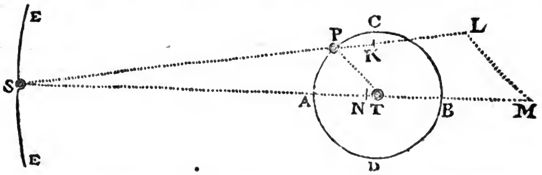
(b) * *Propterea quod vis KL &c.* Eſt enim in ſyzygiis K L = 2 A T, ſeu 2 P T quam proximè (501).

(c) * *Ideóque per cor.* 1. *prop.* 45. Nam ſi in ſuperiori calculo loco $+q$ ſcribatur $-q$, vel loco $+c \times A$, ſcribatur $-c \times A$, quod vis K L ſit ablatitia, invenietur angulus totius revolutionis corporis P ab apſide unâ ad eandem apſidem $= \frac{360°}{\sqrt{1-q}}$, vel angulus inter apſides ſummam & imam $= 180°. \times \sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$. Eſt autem $\sqrt{1-q}$, numerus unitate minor, & $\sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$ numerus unitate major, adeóque $\frac{360°}{\sqrt{1-q}}$, arcus major 360°. & $180° \times \sqrt{\frac{1-c}{1-4c}}$, arcus major 180°. quarè apſides in hoc caſu progrediuntur.



(d) 503. *In locis inter ſyzygias & quadraturas &c.* Iiſdem poſitis quæ in Lemmate 500. quæritur diſtantia angularis corporis P à quadraturâ C, v. gr. ubi apſides quieſcunt. Per locum corporis P agatur P m parallela & æqualis N M ſeu T M, & erit P m = 3 P K (500). Vis P m, ſi in radium T P productum demittatur perpendiculum m n, reſolvitur in vires P n, n m, quarum n m agendo ſecundum lineam radio perpendicularem, vim ac-

facilius intelligetur concipiendo ſyſtema corporum duorum *T*, *P* corporibus pluribus *S*, *S*, *S*, &c. in orbe *E S E* conſiſtentibus, undique cingi. (e) Namque horum actionibus actio ipſius *T*

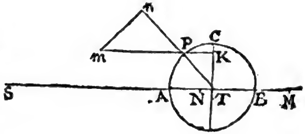


minuetur undique, decreſcetque in ratione pluſquam duplicatâ diſtantiæ.

Co-

acceleratricem corporis P verſus T nec auget, nec minuit, & P n agendo ſecundum radium T P à P verſus n, vim illam acceleratricem corporis P minuit; vis verò L M ſeu T P vim acceleratricem corporis P verſus T auget. Quarè ubi erit $Pn = PT$ vis acceleratrix corporis P nec augebitur nec minuetur, , & apſides quieſcent. Porrò ob triangula T P K, m P n ſimilia $PT : PK = Pm$, ſeu $3PK : Pn$ ſeu P T. Eſt igitur in loco quæſito P, $3PK^2 = PT^2$, & proinde $PT : PK = \sqrt{3} : 1$. hoc eſt ſinus totus ad ſinum diſtantiæ angularis corporis P à quadraturâ proximâ ut $\sqrt{3}$ ad 1, ſeu ut 1732. ad 1000. proxime; unde angulus P T C invenitur eſſe 35°. 26′. circiter. Quieſcent igitur apſides in quatuor locis corporis P quæ à quadraturis diſtant angulo 35°. 16′; & hinc in ſingulis corporis P revolutionibus, cæteris paribus, apſides regredientur per gradus revolutionis corporis P, 141°, & progredientur per grad. 219.

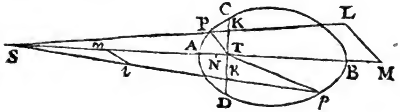
504. Iiſdem poſitis, ſi orbita C P D, circulo finitima ſit, erit vis addititia $PT - Pn$, maxima in quadraturis. Nam cum ſit ſemper $PT : PK = 3PK : Pn$, erit $Pn = \frac{3PK^2}{PT}$, ac proindè $PT - Pn = PT - \frac{3PK^2}{PT}$, quæ quantitas maxima evadet ubi erit $PK = 0$, quod in quadraturis contingit.



(e) * *Namque horum actionibus &c.* Hâc enim ratione corpus P erit ſemper in quadraturis ſimul & in ſyzygiis corporis, ſeu corporum S, adeóque cum vis ablatitia K L, in ſyzygiis & propè ſyzygias ſit ferè duplo major quam vis addititia L M, in quadraturis & prope quadraturas, actio corporis T minuetur undique, decreſcetque proinde in ratione pluſquam duplicatâ diſtantiæ T P.

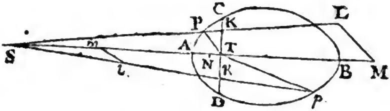
Digitized by Google

Corol. 8. (f) Cum autem pendeat apſidum progreſſus vel regreſſus à decremento vis centripetæ facto in majori vel minori quam duplicatâ ratione diſtantiæ *T P*, in tranſitu corporis ab apſide imâ ad apſidem ſummam; ut & à ſimili incremento in reditu ad apſidem imam; atque ideo maximus ſit ubi proportio vis in apſide ſummâ ad vim in apſide imâ maximè recedit à duplicatâ ratione diſtantiarum inverſâ: manifeſtum eſt quod apſides in ſyzygiis ſuis, per vim ablatitiam *KL* ſeu *NM*—*LM*, progredientur velocius, inque quadraturis ſuis tardius recedent per vim addititiam *L M*. Ob diuturnitatem verò temporis, quo velocitas progreſſus vel tarditas regreſſus continuatur, fit hæc inæqualitas longè maxima.



(f) * *Cum autem* (per corol. 7.) *pendeat apſidum progreſſus vel regreſſus à decremento vis centripetæ facto in majori vel minori quam duplicatâ ratione diſtantiæ* T P quæ augetur in receſſu à centro T, ſive *in tranſitu corporis P ab apſide imâ ad apſidem ſummam, ut & à ſimili incremento* in acceſſu ad centrum, ſive *in reditu* ab apſide ſummâ *ad apſidem imam, manifeſtum eſt* progreſſum vel regreſſum apſidum maximum eſſe *ubi ratio vis in apſide ſummâ ad vim in apſide imâ maximè recedit à duplicatâ ratione diſtantiarum inverſâ*, porrò dum linea apſidum ſeu major axis ellipſeos B C A D, cujus umbilicus eſt T, in ſyzygiis A, B verſatur, ratio vis totius corporis P in apſide ſummâ poſiti ad vim ejus in apſide imâ verſantis, magis recedit à duplicatâ ratione diſtantiarum inverſâ quam in alio quovis lineæ apſidum ſitu. Sit enim B apſis ſumma, A apſis ima, & erit T B diſtantia maxima, A T minima (ex naturâ ellipſeos). Unde corpore P in conjunctione A verſante erit vis ablatitia K L (ſeu differentia virium acceleratricium corporum T & P verſus S) omnium minima, & corpore P in oppoſitione B verſante, erit differentia illa K L omnium maxima. Cum autem ob ingentem corporis S diſtantiam (ex Hyp.) ſit fere K L ad k l ut A T ad T B (501) ratio vis corporis P in A verſantis ad vim illius in B poſiti, exprimi hic poterit per rationem $\frac{b}{AT^2} - c \times AT$, ad $\frac{b}{TB^2} - c \times TB$, (ſi ratio b ad c exprimat rationem vis abſolutæ trahentis corpus P verſus T, ad vim abſolutam ablatitiam K L) ſeu reductione ad eundem denominatorem facta, per rationem $TB^2 \times \overline{b - c \times AT^3}$; ad $AT^2 \times \overline{b - cTB^3}$, quæ ratio eò magis recedit à ratione TB^2 ad AT^2, ſeu duplicatâ diſtantiarum inverſâ, quo magis ratio quantitatis $b - c \times AT^3$, ad quantitatem $b - c \times TB^3$, recedit à ratione æqualitatis, ſeu quo minor eſt A T reſpectu T B; quare dum linea apſidum eſt in ſyzygiis A, B, ratio vis totius in apſide ſummâ ad vim in apſide imâ maxi-

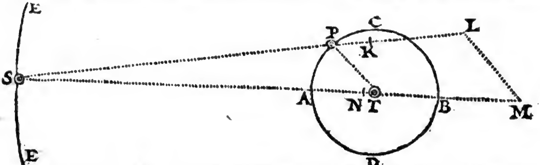
Corol. 9. Si corpus aliquod, vi reciprocè proportionali quadrato diſtantiæ ſuæ à centro revolveretur circa hoc centrum in ellipſi; & mox, in deſcenſu ab apſide ſummâ ſeu auge ad apſidem imam; vis illa per acceſſum perpetuum vis novæ augeretur in ratione pluſquam duplicatâ diſtantiæ diminutæ: manifeſtum eſt quod corpus, perpetuò acceſſu vis illius novæ impulſum ſemper in centrum, magis vergeret in hoc centrum quam ſi urgeretur vi ſolâ creſcente in duplicatâ ratione diſtantiæ diminutæ; ideoque orbem deſcriberet orbe elliptico interiorem, & in apſide imâ propius accederet ad centrum quam prius. (g) Orbis igitur, acceſſu hujus vis novæ, fiet magis excentricus. Si jam vis in receſſu cor-



mè recedit à ratione duplicatâ diſtantiarum inverſâ. In hoc igitur lineæ apſidum ſitu apſides celerrimè progrediuntur, corpore P in ſyzygiis vel prope ſyzygias verſante. Dum vero corpus P eſt in quadraturis C, D, fit vis L M = C T, vel D T; Eſt autem ex naturâ ellipſeos, ſumma linearum C T, D T, omnium minima; quare in integrâ corporis P revolutione, apſides viribus C T, D T tardiſſimè regrediuntur in quadraturis corporis P, & celerrimè progrediuntur in ipſius ſyzygiis, atque adeò exceſſus progreſſus ſupra regreſſum erit in hoc caſu omnium maximus, & apſides in integrâ corporis P revolutione celerrimè movebantur in conſequentia. Ob contrarias prorſus cauſas, ſi linea apſidum in quadraturis poſita ſit, apſides velociſſimè regredientur, corpore P in quadraturis verſante, & tardiſſimè progredientur corpore P in ſyzygiis exiſtente, & ex hâc utrâque causâ fieri poterit ut integrâ corporis P circum T revolutione, regreſſus apſidum ſuperet eorum progreſſum, proindeque ut apſides in antecedentia ferantur; ſed quoniam, cæteris paribus, vis ablatitia K L quæ progreſſum apſidem in ſyzygiis corporis P inducit eſt (500) fere duplo major vi adjectitiâ L M quæ apſidum regreſſum in quadraturis corporis P producit, exceſſu progreſſus ſupra regreſſum, apſides progrediuntur in integrâ ſui revolutione circum T, hoc eſt, eo tempore quo apſides ex T viſæ omnes cum corpore S, aſpectus ſubeunt; augetur verò progreſſus ille, ſi corpora P & S in ſuis orbitis ferantur in eandem plagam; In hâc enim hypotheſi, apſides diutius hærent in ſyzygiis quam in quadraturis, quia in ſyzygiis progrediuntur cum corpore S, atque adeò diutius illud quaſi comitantur, in quadraturis verò feruntur in antecedentia & corporis S in conſequentia revolventis aſpectum quadratum veluti fugiunt; unde fit ut apſides diutius progrediantur in ſyzygiis ſuis quam regrediuntur in ſuis quadraturis.

(g) * *Orbis igitur acceſſu hujus vis novæ fiet magis excentricus*; manente enim diſtantiâ apſidis ſummæ ab orbitæ umbilico, decreſcet diſtantia apſidis imæ ab eodem umbilico, majorque proinde erit ratio prioris diſtantiæ ad poſteriorem, quam ſi

corporis ab apſide imâ ad apſidem ſummam, decreſceret iiſdem gradibus quibus ante creverat, redieret corpus ad diſtantiam priorem, ideoque ſi vis decreſcat in majori ratione, corpus jam minus attractum aſcendet ad diſtantiam majorem & ſic orbis excentricitas adhuc magis augebitur. Quare ſi ratio incrementi & decrementi vis centripetæ ſingulis revolutionibus augeatur, augebitur ſemper excentricitas; (h) & contra, diminuetur eadem, ſi ratio illa decreſcat. Jam verò in ſyſtemate



corporum T, P, S, ubi apſides orbis PAB ſunt in quadraturis, ratio illa incrementi ac decrementi minima eſt, & maxima fit ubi apſides ſunt in ſyzygiis. Si apſides conſtituantur in quadraturis, ratio prope apſides minor eſt & prope ſyzygias major quam duplicata diſtantiarum, & ex ratione illâ majori oritur augis motus directus, (i) uti jam dictum eſt. (k) At ſi conſideretur ratio incrementi vel decrementi totius in progreſſu inter.

ſi vis illa nova non acceſſiſſet, hoc eſt, orbis fiet magis excentricus.

(h) * *Et contra &c.* Si in deſcenſu corporis ab apſide ſummâ ad apſidem imam, vis centripeta augeatur minus quam in duplicatâ ratione diſtantiæ diminutæ, corpus deſcribet orbem orbi elliptico exteriorem, & in apſide imâ, minus accedet ad centrum quam prius, hoc eſt, orbis fiet minus excentricus, & excentricitas adhuc minuetur, ſi in corporis aſcenſu ab apſide imâ ad ſummam, vis centripeta minus decreſcat quam anteà creverat. Quarè ſi ratio incrementi & decrementi vis centripetæ ſingulis revolutionibus minuatur, minuetur ſemper excentricitas.

(i) * *Uti jam dictum eſt* (Cor. 7.)

(k) * *At ſi conſideretur ratio incrementi vel decrementi totius in progreſſu corporis P inter apſides in quadraturis* C, D *conſtitui, hæc minor eſt quam duplicata diſtantiarum.* Sit enim apſis ima C, ſumma D, umbilicus T, erit (*ex Dem.*) vis in apſide imâ ad vim in apſide ſummâ ut $\frac{b}{CT^2} + n \times CT$, ad $\frac{b}{TD^2} + n \times TD$, (ſi ratio b ad n exprimat rationem vis abſolutæ trahentis corpus P verſus T ad vim abſolutam addititiam LM) & reductione ad eamdem denominationem factâ ut $TD^2 \times \overline{b + nCT^3}$ ad $CT^2 \times \overline{b + nTD^3}$, quæ ratio minor eſt quam ratio TD^2, ad CT^2, ob TD, majorem quam CT; & quoniam in hoc lineæ apſidum ſitu ratio TD ad CT. ſeu ratio diſtantiarum umbilici T à

Digitized by Google

inter apſides, hæc minor eſt quam duplicata diſtantiarum. Vis in apſide imâ eſt ad vim in apſide ſummâ in minore quam duplicatâ ratione diſtantiæ apſidis ſummæ ab umbilico ellipſeos ad diſtantiam apſidis imæ ab eodem umbilico, & contra, ubi apſides conſtituuntnr in ſyzygiis, vis in apſide imâ eſt ad vim in apſide ſummâ in majore quam duplicatâ ratione diſtantiarum. Nam vires *L M* in quadraturis additæ viribus corporis *T* componunt vires in ratione minore, & vires *K L* in ſyzygiis ſubductæ à viribus corporis *T* relinquunt vires in ratione majore. Eſt igitur ratio decrementi & incrementi totius, in tranſitu inter apſides, minima in quadraturis, maxima in ſyzygiis: & propterea in tranſitu apſidum, à quadraturis ad ſyzygias perpetuò augetur, augetque excentricitatem ellipſeos; inque tranſitu à ſyzygiis ad quadraturas perpetuò diminuitur, & excentricitatem diminuit.

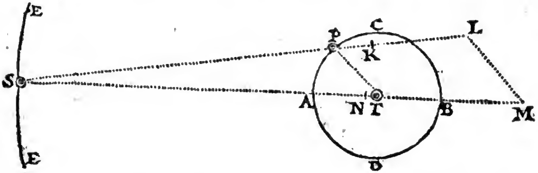
Corol. 10. Ut rationem ineamus errorum in latitudinem, fingamus planum orbis *E S T* immobile manere; & ex errorum expo-

quadraturis maxima eſt, (ex naturâ ellipſeos) patet rationem totius decrementi & incrementi vis centripetæ in tranſitu corporis P inter apſides minimam eſſe in quadraturis apſidum. Et contrà ſi fuerit A apſis ima, B apſis ſumma, erit vis in apſide imâ ad vim in apſide ſummâ ut $TB^2 \times \overline{b - cAT}$, ad $AT^2 \times \overline{b - cTB}$, adeòque in majori ratione quam TB^2, ad AT^2, & quoniam ratio T B, ad A T, in his apſidum locis maxima eſt, ex naturâ ellipſeos, ratio decrementi & incrementi totius in tranſitu inter apſides, maxima eſt in ſyzygiis apſidum, & propterea ſingulis corporis P revolutionibus in tranſitu apſidum à quadraturis ad ſyzygias, hæc ratio perpetuò augetur, augetque excentricitatem ellipſeos, & in tranſitu apſidum à ſyzygiis ad quadraturas perpetuò diminuitur, & excentricitatem diminuit. Maxima ergò eſt orbis excentricitas, ubi apſides ſunt in ſyzygiis, minima ubi ſunt in quadraturis.

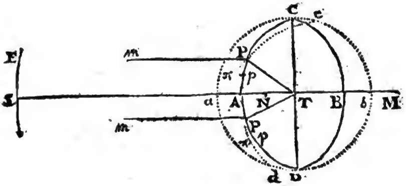
505. Ex his etiam ſequitur in unâquâque corporis P circum T revolutione excentricitatem orbis circà ſyzygias corporis P augeri, & circà ejus quadraturas minui, minimamque eſſe in illius quadraturis, maximam in ſyzygiis, cæteris paribus. Nam (*per cor.* 7.) corporis P vis centripeta tota in ſyzygiis decreſcit in majori quam duplicatâ ratione diſtantiæ auctæ, & creſcit in majori ratione quam duplicatâ diſtantiæ diminutæ, & in quadraturis contrà. Quarè corpus P, in ſyzygiis & prope ſyzygias deſcribit partem orbis magis excentrici, in quadraturis verò & prope quadraturas partem orbis minus excentrici (ex demonſtratis initio cor. 9.) Et quoniam vis addititia L M in quadraturis corporis P maxima eſt, & vis ablatitia K L in ſyzygiis ejus etiam maxima, vis autem addititia excentricitatem diminuit & ablatitia auget, manifeſtum eſt quod (cæteris paribus) in unâ corporis P revolutione, excentricitas orbis minima ſit in quadraturis corporis P, & maxima in illius ſyzygiis, atque adeò quod à quadraturis ad ſyzygias perpetuò augeatur, & à ſyzygiis ad quadraturas perpetuò minuatur.

Digitized by Google

expoſitâ cauſâ manifeſtum eſt, quod ex viribus *N M*, *M L*, quæ ſunt cauſa illa tota, vis *M L* agendo ſemper ſecundum planum orbis *P A B*, nunquam perturbat motus in latitudinem; quodque vis *N M*, ubi nodi ſunt in ſyzygiis, agendo etiam ſecun-



dum idem orbis planum; ([l]) non perturbat hos motus; ([m]) ubi verò ſunt in quadraturis, eos maximè perturbat, corpuſque *P* de plano orbis ſui perpetuò trahendo, ([n]) minuit inclinationem plani in tranſitu corporis à quadraturis ad ſyzygias, augetque viciſſim

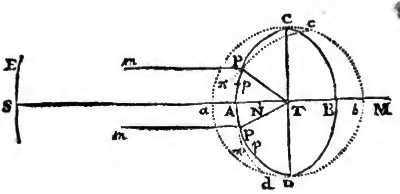


(l) * *Non perturbat hos motus.* Patet per caſ. 2. prop. 66.

(m) 506. *Ubi verò ſunt in quadraturis eos maximè perturbat*; Ubi nodi ſunt in quadraturis C & D inclinatio directionis vis N M (quæ lineâ P m exhibetur) ad planum orbitæ corporis P maxima eſt, utpote æqualis planorum C A D, E S T inclinationi & proinde, cæteris paribus, maximè potenter agit; in alio enim lineæ nodorum ſitu, minor eſt inclinatio directionis vis N M ad planum orbitæ corporis P; & evaneſcit cum nodi ſunt in ſyzygiis, creſcitque adeò in tranſitu nodorum à ſyzygiis ad quadraturas, & contrà decreſcit in eorum tranſitu à quadraturis ad ſyzygias.

(n) 507. *Minuit inclinationem plani &c.* Si orbitæ corporis P nodi in quadraturis C, D conſtituantur, angulus inclinationis orbitæ ad planum in motum D S T perpetuò minuitur in tranſitu corporis P à quadraturis

ciſſim eandem in tranſitu à ſyzygiis ad quadraturas. Unde fit ut (o) corpore in ſyzygiis exiſtente inclinatio evadat omnium mi-



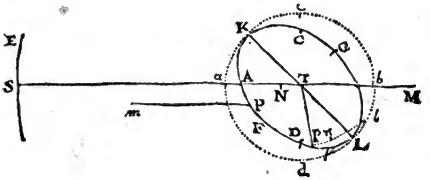
turis ad ſyzygias, augetur verò in tranſitu corporis à ſyzygiis ad quadraturas, & in utroque tranſitu nodi regrediuntur. Sit enim orbitæ P A B pars C A D ſuprà planum immotum E S T elevata, altera verò pars C B D infrà illud depreſſa intelligatur; per locum corporis P agatur recta P m parallela lineæ T S, exhibens directionem vis N M, & corpus P feratur primum à nodo ſeu quadraturâ C ad conjunctionem A, & quoniam corpus P vi revolutionis per arcum P p urgetur, & vi N M per rectam P m trahitur, tempore quam minimo, vi compoſitâ, deſcribet lineolam P π quæ non eſt in plano C P T, ſed ab eo deflectit verſus P m, adeòque corpus movetur in plano T P π qnod productum plano E S T non occurret in C ſed ultra C verſus oppoſitionem B Centro T & intervallo T P deſcribatur in plano E S T circulus C a D b, in plano C P D circuli arcus P C, & in plano π P T arcus P c circulo C a D b, occurrens in c. Et quoniam vis N M minima eſt reſpectu vis revolutionis corporis P, angulus C P c, inclinationis planorum C P T & c P T minimus eſt ſeu infiniteſimus, & arcus P c ab arcu P C nonniſi minimâ ſeu infiniteſimâ quantitate differt; quare cum (ex hyp.) arcus P C à quadrante C A differat finitâ quantitate P A, ſumma arcuum P C, P c ſemicirculo minor eſt, hinc in triangulo ſpherico C P c, angulus externus P C a (per prop. 13. ſphæricorum Menelai, vel per theor. 33. Sphæricorum Clariſſ. Wolfii), major eſt angulo interno oppoſito P c C, hoc eſt, inclinatio plani c P T ad planum immotum E S T minor eſt inclinatione plani C P T ad idêm planum E S T. In tranſitu igitur corporis P à quadraturâ C ad conjunctionem A orbitæ inclinatio perpetuò minuitur, & quoniam nodus C transfertur in c, fitque proinde obviam corpori revolventi, nodi regrediuntur. Eodem modo demonſtratur inclinationem minui & nodos regredi in tranſitu corporis à quadraturâ D ad oppoſitionem B. Jam feratur corpus à conjunctione A ad quadraturam proximam D, & in loco quovis P, duplici vi, nempe vi revolutionis per arcum P p & vi N M per rectam P m urgetur, atque adeò deſcribit lineolam P π, quæ ab arcu P p verſus P m declinat. Quarè ſi centro T & intervallo T P deſcribantur ut ſuprà tres arcus P D, a D, P d, eodem modo demonſtrabitur nodum D transferri in antecedentia in d, & angulum P d a majorem eſſe angulo interno oppoſito P D d, hoc eſt, inclinationem orbitæ augeri in tranſitu corporis P, à conjunctione ad quadraturam proximam, & eadem eodem modo oſtenduntur fieri in tranſitu ab oppoſitione B ad quadraturam C. Q. E. D.

(o) * *Corpore in ſyzygiis exiſtente.* Vis enim N M, cæteris paribus maxima eſt in ſyzygiis (601).

minimâ, (p) redeatque ad priorem magnitudinem circiter, ubi corpus ad nodum proximum accedit. (q) At ſi nodi conſti-tuan-

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXVI. THEOR. XXVI.

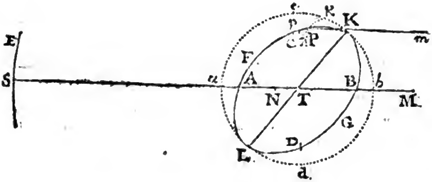
(p) * *Redeatque ad priorem magnitudinem circiter.* Si enim orbita C A D B perfectè circularis maneret, æqualis eſſet vis N M in paribus corporis P diſtantiis à nodis C & D, in utroque quadrante C A & A D, vel D B & B C; quarè cum orbita C A D, circulo finitima ſupponatur, & per vim exiguam N M minuatur inclinatio plani in tranſitu corporis P à quadraturis ad ſyzygias, & contrà augeatur per æqualem vim N M in tranſitu corporis P à quadraturis ad ſyzygias; liquet quòd inclinatio redeat ad priorem magnitudinem circiter, ubi corpus P à ſyzygiâ ad nodum proximum in quadraturâ poſitum accedit.



(q) 508. *At ſi nodi conſtituantur in octantibus poſt quadraturas, id eſt* in locis K & L ità ut anguli K T c, K T a ſint æquales, ſeu 45°. 1°. *Inclinatio plani perpetuò minuitur in tranſitu corporis P à nodo ad gradum indè nonageſimum* F vel G. 2°. *Augetur in tranſitu à gradu illo 90°. ad quadraturam proximam.* 3°. In utroque tranſitu regrediuntur nodi. 4°. *In tranſitu* à quadraturâ *ad nodum proximum inclinatio minuitur* & nodi progrediuntur. 1um, 2um, & 3um. Eodem modo demonſtrantur ac ſuperius (507). Quartum ità oſtenditur. Dum corpus P à quadraturâ D ad nodum proximum L fertur, directio vis NM, quæ antè dirigebatur à P verſus m, in contrariam mutatur; Quarè corpus P inter D & L poſitum vi revolutionis urgetur per arcum P p & vi N M ab illo arcu retrahitur verſus M atque vi utrâque fertur tempore minimo per lineolam P π quæ ab arcu P p in plagam M a deflectit. Si itaque centro T & intervallo T P deſcribantur tres arcus circulares P L, P π, L l b a, in planis T P L, T P π, E S T eodem modo ac in notâ 507. patet angulum P l L minorem eſſe angulo P L a. Undè in tranſitu corporis à quadraturâ D ad nodum proximum L inclinatio orbitæ minuitur & nodus progreditur; eadem fieri in tranſitu corporis à quadraturâ C ad nodum proximum K, eodem modo demonſtratur. Q. E. D.

Digitized by Google

tuantur in octantibus poſt quadraturas, id eſt, inter *C* & *A*, *D* & *B*, intelligitur ex modo expoſitis, quod, in tranſitu corporis *P* à nodo alterutro ad gradum inde nonageſimum, inclinatio plani perpetuo minuitur; deinde in tranſitu per proximos 45 gradus, uſque ad quadraturam proximam, inclinatio augetur, & poſtea denuò in tranſitu per alios 45 gradus, uſque ad nodum proximum, diminuitur. Magis itaque diminuitur inclinatio quàm augetur, (r) & propterea minor eſt ſemper in nodo ſubſequente quam in præcedente. (ſ) Et ſimili ratiocinio, inclinatio magis augetur, quàm diminuitur, ubi nodi ſunt



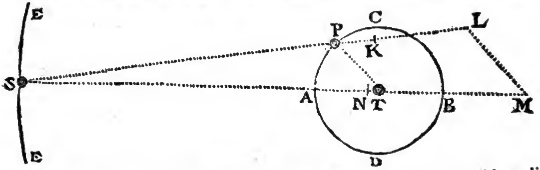
(r) * *Et propterea minor eſt ſemper inclinatio in nodo ſubſequente quàm in præcedente*, quod verum quoque eſt, ubicumque conſtituatur nodus K inter c & a, ut patet ex ipſis demonſtrationibus in notis 507. & 508. traditis.

(ſ) 509. *Et ſimili ratiocinio &c.* Si nodus K conſtituatur inter quadraturam C vel c & oppoſitionem B vel b, & nodus oppoſitus L inter quadraturam D vel d, & conjunctionem A ſeu a, feraturque corpus à nodo K per C ad alterum nodum L. 1°. In tranſitu corporis à nodo ad quadraturam proximam inclinatio plani perpetuò augetur & nodi progrediuntur. 2°. In tranſitu à quadraturâ C vel D ad gradum à nodo nonageſimum F vel G inclinatio minuitur & nodi regrediuntur. 3°. In tranſitu à gradu illo 90°. ad nodum proximum inclinatio augetur & nodi regrediuntur. 2um. & 3um. demonſtrantur prorſus ut in notâ 507. 1um. verò ità oſtenditur. Dum corpus P verſatur inter nodum K & quadraturam C, vi revolutionis urgetur per arcum P p, & vi N M trahitur ſecundùm directionem P m in plagam M, adeòque vi utrâque deſcribet tempuſculo minimo lineolam P π, quæ ab arcu P p deflectet verſus P m; quarè ſi centro T, radio T P, deſcribantur ut ſuprà arcus P K, π P K, K k c a in planis T p P, T π P, E S T patet propoſitum, ut in notâ 507.

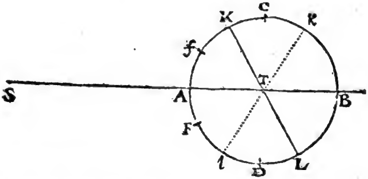
510. *Coroll.* Ex tribus ſuperioribus demonſtrationibus (507. 508. 509.) inter ſe collatis, manifeſtum eſt nodos progredi quamdiu corpus P inter quadraturam alterutram & nodum quadraturæ proximum verſatur; eos verò regredi, dum corpus P in aliis quibuſlibet locis verſatur. Undè ſequitur in ſingulis corporis P à nodo ad nodum revolutionibus nodos magis regredi quàm progredi, adeóque abſolutè regredi niſi fuerint in ſyzygiis.

Digitized by Google

ſunt in octantibus alteris inter *A* & *D*, *B* & *C*. (t) Inclinatio igitur ubi nodi ſunt in ſyzygiis eſt omnium maxima. In tranſitu eorum à ſyzygiis ad quadraturas, in ſingulis corporis ad no-

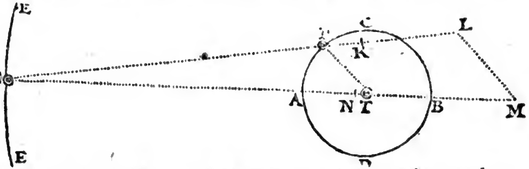


dos appulſibus, diminuitur; fitque omnium minima, ubi nodi ſunt in quadraturis, & corpus in ſyzygiis: dein creſcit iiſdem gradibus, quibus antea decreverat, nodiſque ad ſyzygias proximas appulſis, ad magnitudinem primam revertitur. Co-



(t) * *Inclinatio igitur ubi nodi ſunt in ſyzygiis &c.* Quoniam in ſingulis corporis P à nodo ad nodum revolutionibus, linea nodorum regreditur (510) & in tranſitu nodorum à ſyzygiis A & B ad quadraturas C & D, inclinatio orbitæ perpetuò minuitur (508.) deindè verò in tranſitu nodorum à quadraturis C & D, ad ſyzygias B, & A, perpetuò augetur (509), manifeſtum eſt inclinationem minimam eſſe ubi nodi ſunt in quadraturis & corpus P in ſyzygiis (in quibus vis N M, cæteris paribus, maxima eſt) & maximam inclinationem eſſe ubi nodi ſunt in ſyzygiis. Porrò ſint nodi K & L inter C & A, D & B primum, deindè regrediendo tranſeant in loca k & l, inter C & B, D & A, ſintque arcus C K & C k, æquales. In primo caſu inclinatio minuitur in tranſitu corporis P, per quadrantem K F, (508.) & in ſecundo caſu æqualibus viribus augetur per quadrantem fl, (509.) In primo caſu inclinatio augetur per arcum F D (508.), & in ſecundo caſu æqualibus viribus minuitur per arcum c f = F D (509.) Tandem in primo caſu, inclinatio minuitur per arcum D L, (508.) & in ſecundo caſu augetur æqualibus viribus per arcum æqualem k C, (509). Quarè, cæteris paribus, in tranſitu nodorum à quadraturis ad ſyzygias inclinatio planorum iiſdem gradibus creſcit quibus anteà decreverat in tranſitu nodorum à ſyzygiis ad quadraturas, ideoque nodis ad ſyzygias proximas appulſis, ad magnitudinem primam revertitur.

Corol. 11. Quoniam corpus *P*, ubi nodi ſunt in quadraturis, perpetuò trahitur de plano orbis ſui, idque in partem verſus *S* in tranſitu ſuo à nodo *C* per conjunctionem *A* ad nodum *D*; & in contrariam partem in tranſitu à nodo *D* per oppoſitionem *B* ad nodum *C*: manifeſtum eſt, quod in motu ſuo à nodo *C* corpus perpetuò recedit ab orbis ſui plano primo *CD*, uſque dum perventum eſt ad nodum proximum; ideoque in hoc nodo, longiſſimè diſtans à plano illo primo *CD*, tranſit per planum orbis *EST* non in plani illius nodo altero *D*, ſed



in puncto quod inde vergit ad partes corporis *S*, quodque proinde novus eſt nodi locus in anteriora vergens. Et ſimili argumento pergent nodi recedere in tranſitu corporis de hoc nodo in nodum proximum. (u) Nodi igitur in quadraturis conſtituti perpetuò recedunt; in ſyzygiis, ubi motus in latitudinem nil perturbatur, quieſcunt; in locis intermediis, conditionis utriuſque participes, recedunt tardius: ideoque, ſemper vel retrogradi, vel ſtationarii ſingulis revolutionibus feruntur in antecedentia.

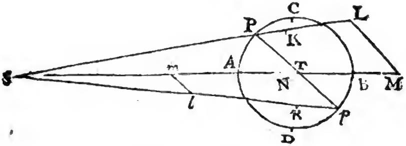
Co-

(u) * *Nodi igitur in quadraturis conſtituti &c.* In integrà corporis P revolutione, nodi partim regrediuntur, partim progrediuntur, niſi fuerint in quadraturis vel in ſyzygiis conſtituti (510); dum autem in quadraturis verſantur, vis N M, quæ eorum regreſſum producit, maximè potenter agit (506); quare nodi in quadraturis conſtituti celerrimè regrediuntur; in ſyzygiis ubi motus in latitudinem nihil perturbatur quieſcunt, in locis intermediis recedunt quidem ſingulis revolutionibus corporis P, (510), ſed tardius quàm in quadraturis, *ideòque ſemper &c.*

511. *Lemma.* Si fuerint tres quantitates a, $a+b$, $a+2b$ in continuà proportione arithmeticâ, ratio 2ª. ad 1ᵃᵐ. (quæ è tribus eſt minima) major erit quàm ratio 3ª. (quæ eſt maxima) ad 2ᵃᵐ. Eſt enim $a+b : a = \overline{a+b} \times \overline{a+b} : aa+ab = aa+2ab+bb : aa+ab$; ſed eſt $a+2b : a+b = aa+2ab : aa+ab$. Ergo cum ratio $aa+2ab+bb$ ad $aa+ab$ major ſit quàm ratio $aa+2ab$ ad $aa+ab$, erit ratio $a+b$ ad a major ratione $a+2b$ ad $a+b$.

Corol. 12. Omnes illi in his corollariis deſcripti errores ſunt paulò majores in conjunctione corporum P, S, quàm in eorum oppoſitione; (x) idque ob majores vires generantes NM & ML. DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

Corol. 13. Cùmque rationes horum corollariorum non pendeant à magnitudine corporis S, obtinent præcedentia, omnia ubi corporis S tanta ſtatuitur magnitudo, (y) ut circa ipſum revolvatur corporum duorum T & P ſyſtema. Et ex aucto corpore S auctâque PROP. LXVI. THEOR. XXVI.



(x) * *Idque ob majores vires generantes NM & ML.* Vis LM in conjunctione eſt ut $\frac{AT}{SA^3}$, & vis l m in oppoſitione eſt ut $\frac{TB}{SB^3}$ (495). Quarè (cæteris paribus) hoc eſt, ſi fuerit $AT = TB$ vis ML in conjunctione major erit vi m l in oppoſitione propter SA^3 minorem quam SB^3: Quod erat unum. Porrò ſi A T & B T ſint æquales, tres lineæ SA, ST, SB erunt in continuâ proportione arithmeticâ & proinde S K mediocris diſtantia corporis P ab S erit æqualis S T, & quoniam S K exhibet vim acceleratricem corporis P verſus S in mediocri diſtantia S K, & S N exponit vim acceleratricem corporis T verſus S, (*prop.* 66.) erit $SN = ST$, atque adeò $NM = TM$, & $mN = Tm$. Sed quoniam PT, ſeu $AT : ST = LM : SM$, erit $SM = \frac{ST \times LM}{AT}$, & ſimiliter invenietur $Sm = \frac{ST \times lm}{AT}$, adeóque $TM = SM - ST = \frac{ST \times lM - ST \times AT}{AT}$, & $Tm = ST - sm = \frac{ST \times AT - ST \times lm}{AT}$; undè differentia $TM - Tm$, erit ut $ST \times LM + ST \times lm - ST \times 2AT$, hoc eſt, ut $LM + lm - 2AT$; Eſt autem ſumma $LM + lm$, major quàm $2AT$. Nam cùm ſit (495) $LM = \frac{ST^3 \times AT}{SA^3}$, & $lm = \frac{ST^3 \times AT}{SB^3}$, recta L M major eſt rectâ A T, in ratione ST^3 ad SA^3, & l m minor eſt A T in ratione SB^3 ad ST^3. Eſt verò ratio ST^3 ad SA^3, major ratione SB^3 ad ST^3 (521.) & proindè differentia rectarum L M & A T major erit quàm differentia rectarum A T & l m, & ideò ſumma $LM + lm$ major eſt quàm $2AT$; Quarè tandem erit T M major quàm T m, ſeu vis N M major in conjunctione quàm in oppoſitione; Quod erat alterum.

(y) * *Ut circà ipſum revolvatur &c.* Demonſtrationes enim ſunt eædem, ſive corpus S moveatur circum T, ſeu corpus T revolvatur circum S.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXVI. THEOR. XXVI.

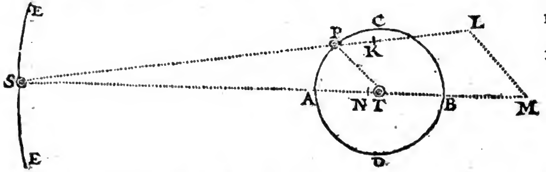
tâque ideo ipſius vi centripetâ à quâ errores corporis P oriuntur, evadent errores illi omnes, paribus diſtantiis, majores in hoc caſu quàm in altero, ubi corpus S circum ſyſtema corporum P & T revolvitur.

Corol. 14. (z) Cùm autem vires NM, ML, ubi corpus S longinquum eſt, ſint quamproximè ut vis SK & ratio PT ad ST conjunctim, hoc eſt, ſi detur tum diſtantia PT; tum corporis S vis abſoluta, ut ST *cub.* reciprocè; ſint autem vires illæ NM, ML cauſæ errorum & effectuum omnium, de quibus actum eſt in præcedentibus corollariis: manifeſtum eſt, quòd effectus illi omnes, ſtante corporum T & P ſyſtemate, & mutatis tantum diſtantiâ ST & vi abſolutâ corporis S, ſint quamproximè in ratione compoſitâ ex ratione directâ vis abſolutæ

(z) 511. * *Cùm autem vires NM, ML &c.* Ob magnam diſtantiam corporis S, erit ferè LS parallela MS, & $SN = ST = SK$, ac $ML = PT$; & quoniam NM in ſyzygiis eſt ut ML in quadraturis (501). Si auctâ vel diminutâ actione corporis S, orbita CADB unà cum lineis hinc pendentibus PT, NM, ML augeatur vel diminuatur (*cor. 6. hujus prop. 66.*) tres illæ lineæ in eâdem ferè ratione inter ſe (cæteris paribus) augebuntur vel diminuentur. Eſt autem vis ML ad vim SK ut recta ML ad rectam SK, ſeu quam proximè ut PT ad ST; Quarè vis ML (adeóque & vis NM) eſt quam proximè ut vis SK & ratio PT, ad ST, conjunctim, hoc eſt, ſi vis acceleratrix SK dicatur A ut $\frac{A \times PT}{ST}$. Porrò datâ vi abſolutâ corporis S, vis acceleratrix A in diſtantiâ SK ſeu ST eſt ut $\frac{1}{ST^2}$, (*ex hyp.*) Quarè vires NM, ML, datâ vi abſolutâ corporis S, ſunt ut $\frac{PT}{ST^3}$; hoc eſt (ſi detur diſtantia PT) ut ST^3 reciprocè. Verùm ſi variabilis ſit vis abſoluta V corporis S, erit vis acceleratrix A in diſtantiâ ST, ut vis abſoluta V directè & quadratum diſtantiæ ST inversè, (nam manente vi abſolutâ corporis S, vis acceleratrix eſt ut ST^2 inversè, & manente diſtantiâ ST vis acceleratrix eſt ut vis abſoluta directè, proindéque variantibus vi abſolutâ & diſtantiâ ſimul, vis acceleratrix eſt ut vis abſoluta directè & quadratum diſtantiæ inversè); Quarè ſi loco vis acceleratricis A ratio illa compoſita in facto $\frac{A \times PT}{ST}$ ponatur, vires NM, ML erunt quàm proximè ut $\frac{V \times PT}{ST^3}$, ſeu datâ PT, ut $\frac{V}{ST^3}$, hoc eſt in ratione compoſitâ ex ratione directâ vis abſolutæ corporis S, & ratione triplicatâ inversâ diſtantiæ ST. Vis autem abſoluta corporis S, eſt (*ex Dem.*) in ratione compoſitâ vis acceleratricis A & quadrati diſtantiæ ST, & vis acceleratrix A in diſtantiâ ST eſt (*per coroll. 2. prop. 4.*) in ratione compoſitâ ex ratione directâ diſtantiæ ST & ratione duplicatâ inversâ temporis periodici corporis T circum S ad diſtantiam ST circulum deſcribentis, adeóque vis abſoluta corporis S eſt ut cubus diſtantiæ ST directè, & quadratum temporis periodici corporis T inversè. Quarè vires NM, ML (earumque effectus) quæ ſunt directè ut vis abſoluta, & inversè ut cubus diſtantiæ, ſunt reciprocè in duplicatâ ratione temporis periodici corporis T.

Digitized by Google

lutæ corporis S, & ratione triplicatâ inverſâ diſtantiæ $S\,T$. Unde ſi ſyſtema corporum T & P revolvatur circa corpus longinquum S; vires illæ $N\,M$, $M\,L$, & earum effectus erunt (*per corol.* 2. & 6. *prop.* IV.) reciprocè in duplica-



tâ ratione temporis periodici. Et inde etiam, (a) ſi magnitudo corporis S proportionalis ſit ipſius vi abſolutæ, erunt vires illæ NM, $M\,L$, & earum effectus directè ut cubus diametri apparentis longinqui corporis S è corpore T ſpectati, & vice verſâ. Namque hæ rationes eædem ſunt, atque ratio ſuperior compoſita.

Corol. 15. (b) Et quoniam ſi, manentibus orbium $E\,S\,E$ & $P\,A\,B$ formâ, proportionibus & inclinatione ad invicem, mutetur

(a) * *Si magnitudo* ſeu maſſa *corporis S proportionalis ſit ipſius vi abſolutæ*, dato corpore S dabitur vis illius abſoluta; undè ſi prætereà data ſit diſtantia P T, *vires N M, M L & earum effectus erunt*, ex ſuprà demonſtratis, ut cubus diſtantiæ S T inversè; ſed diameter apparens F G corporis longinqui S ex T viſi, hoc eſt, angulus F T G ſub quo diameter F G de loco T videtur, eſt ut diſtantia S T inversè; nam cùm globi S diameter parva admodum ſupponatur reſpectu diſtantiæ S T, angulus F T G, erit admodum exiguus, & globi radius S F ad S T normalis uſurpari poterit pro arcu circuli centro T & intervallo T S deſcripti, adeóque (154) angulus F T S $= \frac{F\,S}{S\,T}$, hoc eſt, ob datum radium S F, angulus F T S & ipſius duplus F T G erit ut S T inversè. *Vires igitur N M, M L earumque effectus, erunt ut cubus diametri apparentis corporis longinqui S è corpore T ſpectati.*



(b) * *Et quoniam ſi manentibus &c.* Hoc eſt, ſi corporum S & T vel maneant vel mutentur vires abſolutæ in datâ quâvis ratione, & orbium E S E & P A B, magnitudo ità mutetur, ut orbis E S E ſibi ſimilis ſemper maneat, ſicut & orbis P A B ſibi, & horum orbium inclinatio non mutetur, nec proportio ſeu ratio axium unius orbis ad axes alterius aut linearum quarumvis in uno orbe ad lineas homologas in altero orbe.

Digitized by Google

tetur eorum magnitudo, & ſi corporum *S* & *T* vel maneant; vel mutentur vires in datâ quâvis ratione; (c) hæ vires (hoc eſt, vis corporis *T*, quâ corpus *P* de recto tramite in orbitam *P A B* deflectere, & vis corporis *S*, quâ corpus idem *P* de orbitâ illâ deviare cogitur) agunt ſemper eodem modo, & eâdem proportione: neceſſe eſt ut ſimiles & proportionales ſint effectus omnes, & proportionalia effectuum tempora; hoc eſt, ut errores omnes lineares ſint ut orbium diametri, angulares verò iidem, qui prius, & errorum linearium ſimilium, vel angularium æqualium tempora ut orbium tempora periodica.

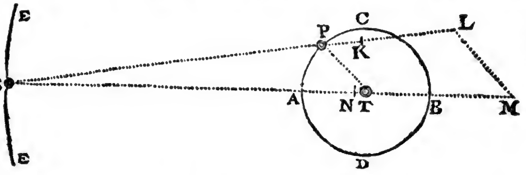
Corol. 16. Unde, ſi dentur orbium formæ & inclinatio ad invicem, & mutentur utcunque corporum magnitudines, vires & diſtantiæ; ex datis erroribus & errorum temporibus in uno caſu, colligi poſſunt errores & errorum tempora in alio quovis, quam proximè: ſed brevius hâc methodo. (d) Vires *N M*, *M L*, cæteris ſtantibus, ſunt ut radius *T P*, & harum effe-

(c) * *Hæ vires &c.* Vis acceleratrix quâ corpus P in loco P verſus T trahitur, eſt (512) ad vim acceleratricem quâ verſus S urgetur, in ratione compoſitâ ex ratione directâ vis abſolutæ corporis T ad vim abſolutam corporis S, & ratione inversâ duplicatâ diſtantiæ P T ad diſtantiam P S. Quarè ſi vires abſolutæ & diſtantiæ in datis rationibus mutentur, manebit eadem virium acceleratricium ratio, & ob figurarum ſimilitudinem, in ſimilibus corporum *P*, *T*, *S* poſitionibus, antè & poſt diſtantias vireſque mutatas omnium linearum S P, S K, M L, S M, N M, &c. eadem manet ratio, atque adeo vires agunt ſemper eodem modo & eâdem proportione. Neceſſe igitur eſt, ut antè & poſt diſtantias, & vires mutatas in datis rationibus, ſimiles ac proportionales ſint effectus omnes & proportionalia effectuum tempora (*196*) hoc eſt, errores omnes lineares ſimiles à viribus M L, N M producti, ſeu deviationes, corporis *P* in longitudinem & latitudinem à locis illis in quibus verſaretur, ſi viribus perturbantibus M L, N M non agitaretur, ſunt ut orbium diametri, & anguli ſub quibus è centro T deviationes illæ ſimiles videntur, ſemper manent æquales, ut patet ex naturâ figurarum ſimilium (*Lem.* V. *&* *not.* 112), & errorum linearium ſimilium vel angularium æqualium tempora, ſunt ut orbium tempora periodica (*196*). Hæc omnia etiam obtinent, ubi corporum duorum *T*, & *P* ſyſtema circà corpus S revolvitur, ut patet, ſi loco orbis E S E in demonſtratione ponatur orbis quem corpus T circum *S* deſcribit.

(d) * *Vires N M, M L &c.* Quoniam vires N M, M L ſunt (*cor.* 14.) ut vis S K & ratio P T ad S T conjunctim, manentibus vi S K & S T erunt vires illæ ut radius T P & proindè aucto vel diminuto radio illo T P, manent in datâ inter ſe ratione, & quoniam ob longinquitatem corporis S ad ſimiles orbis variabilis P A B (ſed ſibi ſemper ſimilis & æque inclinati) partes ſimiliter applicantur quamproximè, illarum effectus periodici. (*per coroll.* 2. *Lem.* X.) ſunt ut vires ipſæ & quadratum temporis periodici corporis *P* circum T con-

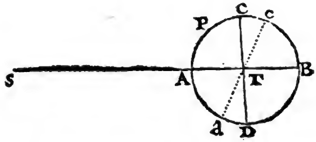
Digitized by Google

effectus periodici (*per corol.* 2. *lem.* x.) ut vires, & quadratum temporis periodici corporis *P* conjunctim. Hi ſunt errores lineares corporis *P*; & hinc errores angulares è centro *T* ſpectati (id eſt, tam motus augis & nodorum, quàm omnes



in longitudinem & latitudinem errores apparentes) ſunt, in quâlibet revolutione corporis *P*, ut quadratum temporis revolutionis quam proximè. Conjungantur hæ rationes cum rationibus corollarii xiv. & in quolibet corporum *T*, *P*, *S* ſyſtemate, ubi *P* circum *T* ſibi propinquum, & *T* circum *S* longinquum revol-

conjunctim, hoc eſt, ut radius T P, & quadratum temporis periodici corporis P quamproximè. Porrò ſi in orbitâ circulari vel circulo finitima P A B, ſit arcus D d error linearis periodicus v. gr. nodi D in antecedentia ad d regreſſi tempore unius revolutionis corporis *P* circum T, angulus D T d, ſub quo error ille D d è centro T videtur, hoc eſt, error angularis periodicus erit $= \frac{Dd}{TD}$ (154). Errores igitur angulares periodici ſunt ut errores lineares directè & radius T D vel T P inverſè, adeòque ut quadratum temporis periodici corporis P quamproximè. Et hæc quidem vera ſunt, ſtantibus vi abſolutâ corporis *S* & diſtantiâ S T & variantibus radio T P ac tempore periodico corporis P; verum ſtantibus radio T P & tempore periodico corporis *P* & variantibus vi abſolutâ corporis *S* atque diſtantiâ S T, errores periodici tum lineares, tum angulares ſunt (*coroll.* 14.) recipro-



cè ut quadratum temporis periodici corporis T circum *S*, quarè variantibus tum radio T P, & tempore periodico corporis *P*, tum radio S T, atque vi abſolutâ corporis *S*, errores angulares corporis P de centro T apparentes, erunt in ſingulis revolutionibus corporis illius *P* circum T, in ratione ex binis ſuperioribus rationibus compoſitâ, ſeu erunt ut quadratum temporis periodici corporis P, directè & quadratum temporis periodici corporis T, inverſè.

volvitur, errores angulares corporis *P*, de centro *T* apparentes, erunt, in ſingulis revolutionibus corporis illius *P*, ut quadratum temporis periodici corporis *P* directè, & quadratum temporis periodici corporis *T* inversè. (e) Et inde motus medius augis erit in datâ ratione ad motum medium nodorum; & motus uterque erit ut tempus periodicum corporis *P* directè & quadratum temporis periodici corporis *T* inversè. Augendo vel minuendo excentricitatem & inclinationem orbis *PAB* (f) non mutantur motus augis & nodorum ſenſibiliter, niſi ubi eædem ſunt nimis magnæ.

Corol. 17. Cùm autem linea *LM* nunc major ſit, nunc minor quam radius *PT*, exponatur vis mediocris *LM* per radium illum *PT*; & erit hæc ad vim mediocrem *SK* vel *SN* (quam exponere licet per *ST*) ut longitudo *PT* ad longitudinem *ST*. Eſt autem vis mediocris *SN* vel *ST*, quâ corpus *T* retinetur in orbe ſuo circum *S*, ad vim, quâ corpus *P* retinetur in orbe ſuo circum *T*, (g) in ratione compoſitâ ex ratione radii *ST*, ad radium *PT*, & ratione duplicatâ temporis periodici cor-

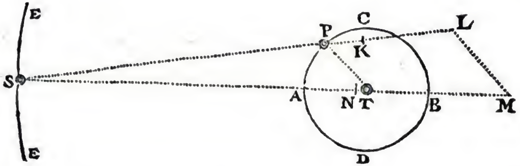
(e) * *Et indè motus medius augis &c.* Si corpus quodvis celeriùs & tardiùs vel in plagas oppoſitas per vices moveatur, illius velocitas æquabilis media, ſeu motus medius obtinetur, ſi ſpatium quod corpus illud in unam plagam latum, longo ſatis tempore percurrit, per illud notabile tempus dividatur. Hinc quoniam apſidum & nodorum motus tardior & celerior eſt per vices, nuncque in antecedentia, nunc in conſequentia fit, invenitur illorum motus medius angularis, ſi ſpatium angulare totum, quod plurium revolutionum corporis *P* tempore deſcribunt, per illud tempus dividatur. Quarè cùm motus angularis periodicus augis & nodorum ſit (*ex Dem.*) ut quadratum temporis periodici corporis *P* directè, & quadratum temporis periodici corporis *T* inversè, ſi ratio hæc compoſita per tempus periodicum corporis *P* pluries ſumptum dividatur, erit quotiens ſeu motus medius angularis augis & nodorum ut tempus periodicum corporis *P* directè & quadratum temporis periodici corporis *T* inversè; & indè motus medius augis & nodorum, qui ſunt ambo ut eadem quantitas, ſeu ut tempus periodicum corporis *P* directè & quadratum temporis periodici corporis *T* inversè, datam habent ad ſe mutuò rationem.

(f) * *Non mutantur &c.* Nam vires ML, NM motuum augis & nodorum productrices, cæteris ſtantibus, non multum mutantur, ſi augeatur vel minuatur excentricitas & inclinatio orbis PAB, niſi magna ſatis fuerit illa mutatio, ut patet ex ratione quâ vires illæ ML, NM prop. *66.* determinantur.

(g) * *In ratione compoſitâ ex ratione radii S T &c.* Nam (*per cor. 2. prop. 4.*) vis acceleratrix mediocris S T quâ corpus *T* circum S ad diſtantiam S T circulum vel orbem circulo finitimum deſcribere ſupponitur, eſt ad vim ſimilem quâ corpus *P* in orbitâ ſuâ circulari vel circulo finitimâ retinetur in ratione compoſitâ ex ratione radii S T ad radium P T directè, & ratione duplicatâ temporis perio-

Digitized by Google

corporis *P* circum *T* ad tempus periodicum corporis *T* circum *S*. Et ex æquo, vis mediocris *L M* ad vim, quâ corpus *P* retinetur in orbe ſuo circum *T* (quâve corpus idem *P*, eodem tempore periodico, circum punctum quodvis immobile *T* ad diſtantiam *P T* revolvi poſſet) eſt in ratione illâ duplicatâ periodicorum temporum. Datis igitur temporibus periodicis unà cum diſtantia *P T*, datur vis mediocris *L M*; (h) & eâ datâ, datur etiam vis *M N* quam proximè per analogiam linearum *P T*, *MN*.



Corol. 18. Iiſdem legibus, quibus corpus *P* circum corpus *T* revolvitur, fingamus corpora plura fluida circum idem *T* ad æquales ab ipſo diſtantias moveri; deinde ex his contiguis factis conflari annulum fluidum, rotundum ac corpori *T* concentricum; & ſingulæ annuli partes, motus ſuos omnes ad legem corporis *P* peragendo, propiùs accedent ad corpus *T*, & celeriùs movebuntur in conjunctione & oppoſitione ipſarum & corporis *S*, quàm in quadraturis. Et nodi annuli hujus, ſeu interſectiones ejus cum plano orbitæ corporis *S* vel *T*, qui-

riodici corporis *T* circum S, ad tempus periodicum corporis *P* circum T, inversè. Quarè vis prior eſt ad poſteriorem in ratione compoſitâ ex ratione radii S T ad radium P T, & ratione duplicatâ temporis periodici corporis *P* ad tempus periodicum corporis *T*; cùmque ſit etiam, *ex Dem.*, vis mediocris L M ad vim mediocrem S T, ut P T ad S T, erit per compoſitionem rationum & ex æquo; vis mediocris L M, ad vim acceleratricem quâ corpus *P* retinetur in orbe ſuo circum T, ut quadratum temporis periodici corporis *P* circum T ad quadratum temporis periodici corporis T circum S.

(h) * *Et eâ datâ*, datur etiam vis N M (500).

Digitized by Google

quieſcent in ſyzygiis; extra ſyzygias verò movebuntur in antecedentia, & velociſſimè quidem in quadraturis, tardius aliis in locis. Annuli quoque inclinatio variabitur, (i) & axis ejus ſingulis revolutionibus oſcillabitur; completâque revolutione ad priſtinum ſitum redibit, niſi quâtenus per præceſſionem nodorum circumfertur.

Corol. 19. Fingas jam globum corporis *T*, ex materiâ non fluidâ conſtantem, ampliari & extendi uſque ad hunc annulum, & alveo per circuitum excavato continere aquam, motuque eodem periodico circa axem ſuum uniformiter revolvi. Hic liquor per vices acceleratus & retardatus (ut in ſuperiore corollario) (k) in ſyzygiis velocior erit, in quadraturis tardior quam ſuperficies globi, & ſic fluet in alveo refluetque ad modum maris. Aqua, revolvendo circa globi centrum quieſcens, ſi tollatur attractio corporis *S*, nullum acquiret motum fluxus & refluxus. (l) Par eſt ratio globi uniformiter progredientis in directum, & interea revolventis circa centrum ſuum (*per legum corol.* v.) ut & globi de curſu rectilineo uniformiter tracti, (*per legum corol. 6.*) Accedat autem corpus *S*, & ab ipſius inæquabili attractione mox turbabitur aqua. Etenim major erit attractio aquæ propioris, minor ea remotioris. (m) Vis autem *L M* trahet aquam deorſum in quadraturis, facietque ipſam

(i) * *Et axis ejus* ſeu recta per centrum annuli ducta ad planum ejus perpendiculariter, cum plano illo *ſingulis revolutionibus oſcillabitur*, hoc eſt, ad planum E S T magis & minus per vices inclinabitur (*cor.* 10.) *completaque* &c. totum verò corollarium patet ex *coroll.* 3. 5. 10. 11. 13.

(k) * *In ſyzygiis velocior erit &c.* Per cor. 18. & 3. Nam velocitas uniformis quâ globus circà axem ſuum revolvitur eodem tempore periodico quo pars quælibet fluidi ſuam revolutionem abſolvit, media erit inter maximam velocitatem fluidi in ſyzygiis & minimam in quadraturis.

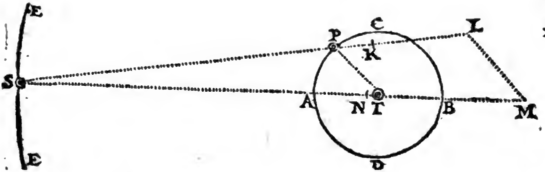
(l) * *Par eſt ratio &c.* Id eſt, excluſâ actione corporis S aqua uniformiter revolvendo circum centrum globi vel uniformiter moti in directum vel de curſu rectilineo per lineas parallelas uniformiter tracti, nullum acquiret motum fluxûs & refluxûs, *accedat autem* &c.

(m) * 514. *Vis autem L M &c.* Patet per *coroll.* 5. Verùm ut totum hoc corollarium 19um. clarius intelligatur, ſit c a d b globi ſolidi æquator hoc eſt, circulus globi maximus ad axem rotationis globi perpendicularis CADB zona fluida ſatis profunda, ſeu annulus fluidus globo circumpoſitus, & ſupponendo quod centrum gravitatis globi ſolidi accuratè vel quamproximè coincidat cum figuræ centro T, globus eodem quamproximè modo trahetur à corpore longinquo S, & trahet ipſe particulam P fluidi (71) ac ſi tota illius

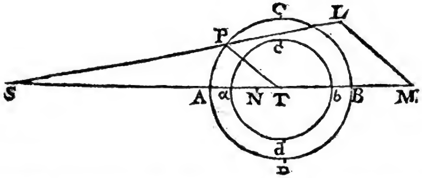
Digitized by Google

ipſam deſcendere uſque ad ſyzygias; & vis *KL* trahet eandem ſurſum in ſyzygiis, ſiſtetque deſcenſum ejus & faciet ipſam aſcendere uſque ad quadraturas: niſi quâtenus motus fluendi & refluendi ab alveo aquæ dirigatur, & per frictionem aliquâtenus retardetur.

Prop. LXVI. Theor. XXVI.



Corol. 20. Si annulus jam rigeat, & minuatur globus, ceſſabit motus fluendi & refluendi; (n) ſed oſcillatorius ille inclinationis motus & præceſſio nodorum manebunt. Habeat globus eundem axem cum annulo, gyroſque compleat iiſdem temporibus, & ſuperficie ſuâ contingat ipſum interius, eique inhæreat; & participando motum ejus, compages utriuſque oſcillabitur, & nodi regredientur. (o) Nam globus, ut mox dicetur, ad ſuſci-



illius maſſa eſſet in centro T coacta (quod quidem accuratè verum eſſe quibuſdam in caſibus poſteà demonſtrabitur), ſed hic approximatio ſufficit; quarè fluidi particula quævis P à corpore S inæqualiter attracta totuſque proindè annulus movebuntur, ut in coroll. 19ᵉ. ex corollariis præcedentibus determinatum eſt.

(n) * *Sed oſcillatorius ille &c.* Patet per cor. 18. & not. ſuperiorem.

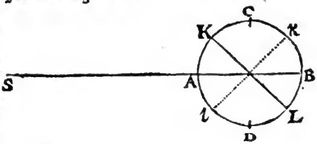
(o) * *Nam globus indifferens eſt &c.* Liquet etiam ex legibus 1ª. & 2ª. & not. 9.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXVI. THEOR. XXVI.

ſuſcipiendas impreſſiones omnes indifferens eſt. Annuli globo orbati maximus inclinationis angulus eſt, ubi nodi ſunt in ſyzygiis. Inde in progreſſu nodorum ad quadraturas conatur is inclinationem ſuam minuere, & iſto conatu motum imprimit globo toti. (p) Retinet globus motum impreſſum, uſque dum annulus conatu contrario motum hunc tollat, imprimatque motum novum in contrariam partem: Atque (q) hâc ratione maximus decreſcentis inclinationis motus fit in quadraturis nodorum, & minimus inclinationis angulus in octantibus poſt quadraturas; dein maximus reclinationis motus in ſyzygiis, & maximus angulus in octantibus proximis. Et eadem eſt ratio globi annulo nudati, qui in regionibus æquatoris vel altior eſt paulò quam juxta polos, vel conſtat ex materiâ paulo denſiore. (r) Supplet enim vicem annuli iſte materiæ in æquatoris regionibus exceſſus. Et quanquam, auctâ utcunque globi hujus vi centripetâ, tendere ſupponantur omnes ejus partes deorſum,

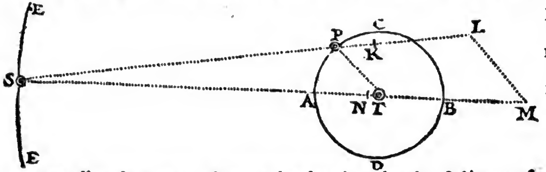
(p) *Retinet globus motum impreſſum.* Per Leg. 1. & 2.



(q) * *Atque hác ratione maximus inclinationis motus fit in quadraturis nodorum* (per coroll. 18. & 10.) non ideò tamen ibidem fit minimus inclinationis angulus, ſed in octantibus poſt quadraturas. Sint enim nodi K & L in octantibus poſt ſyzygias A & B, & retrogrediendo accedant ad quadraturas C, D; dum nodus K percurrit arcum KC, & nodus L, arcum LD, inclinatio per actionem vis NM, continuò decreſcit, cumque nodus K, pervenit in C, & tranſit ad octantem k perſeverat, ex inertiâ materiæ, motus inclinationis decreſcentis per totum arcum KC impreſſus; Licèt vis NM in contrarium agat per totum arcum Ck = CK; vis enim NM per arcum Ck motum inclinationis decreſcentis iiſdem gradibus diminuit, quibus per arcum KC productus & acceleratus eſt. Quarè ille decreſcentis inclinationis motus penitùs non deſtruitur, niſi nodus K pervenerit in k, tumque vis NM planum reclinat, hoc eſt, nodo exiſtente in k incipit motus reclinationis ſivè motus inclinationis creſcentis & perſeverat uſque ad octantem proximum L atquè ibi ceſſat. Liquet igitur minimum angulum inclinationis fieri in octantibus nodorum k, l poſt quadraturas C, D maximum verò dum nodi verſantur in octantibus K & L poſt ſyzygias A, B.

(r) *Supplet enim vicem annuli &c.* Patet per not. 514. Si materiæ in æquatoris regionibus exceſſus per annulum CcADb, (*vid. fig. not.* 514.) exhibeatur & reliqua globi materia in centro T coacta intelligatur.

ſum, ad modum gravitantium partium telluris, tamen phænomena hujus & præcedentis corollarii (ſ) vix inde mutabuntur; niſi quod loca maximarum & minimarum altitudinum



aquæ diverſa erunt. Aqua enim jam in orbe ſuo ſuſtinetur & permanet, non per vim ſuam centrifugam, ſed per alveum in quo fluit. Et præterea vis LM trahit aquam deorſum maxime in quadraturis, & vis KL ſeu $NM-LM$ trahit

(ſ) * *Vix indè mutabuntur.* Nam major partium globi in centrum T gravitas non impedit quin annulus fluidus vel ſolidus, impreſſiones virium L M, N M ſuſcipiat, loca tamen maximarum & minimarum altitudinum aquæ diverſa erunt. Hucuſque enim ſuppoſuimus particulas aquæ ex virium centripetæ & centrifugæ æquilibrio, in orbe ſuo ſuſtineri & permanere inſtar corporis ſolitarii *P* circum T in ſpatio libero revolventis; atque inde ex *cor.* 5. oſtenſum eſt in *cor.* 18. maximam aquæ altitudinem in quadraturas incidere, minimam in ſyzygias. Verùm ſi manente eâdem vi centrifugâ augeatur vis centripeta, ſeu gravitas particularum aquæ, particulæ illæ non vi ſuâ centrifugâ, ſed alvei parietibus, ut in mari atque fluminibus telluris contingit, ſuſtinentur & in orbe ſuo permanent ac proinde non amplius ad legem corporis ſolitarii circum centrum T, in ſpatio libero revolventis à centro illo T recedunt, vel ad illud accedunt. Loca igitur maximarum & minimarum altitudinum aquæ diverſa erunt: velocitas tamen partium aquæ, cæteris paribus, maxima erit in ſyzygiis, minima in quadraturis (*per cor.* 3) Præterea vis L M addititia trahit, aquam deorſum, ſeu ad centrum T, maximè in quadraturis (504.) & vis ablatitia K L trahit eandem ſurſum, maxime in ſyzygiis (501) & ideò ſi globus cum aquâ circumpoſitâ non revolveretur circà centrum T, minimæ aquarum altitudines in quadraturis C & D, maximæ in ſyzygiis A & B eſſent) verum revolvente cum globo æquâ à C ad A, vis addititia poſt quadraturas agens, aquam deorſum ſemper urget, donec vi ablatitiâ vincatur; & ſimiliter hæc vis ablatitia poſt ſyzygias ſurſum trahit aquas, quarum proinde minimæ altitudines non incident in quadraturas, ſed poſt quadraturas, maximæ verò poſt ſyzygias. Inſuper rotatio globi circà proprium axem maximas aquarum altitudines à ſyzygiis A & B verſus quadraturas D & C transfert, intereadum vires L M, N M ſimul junctæ maximas eas aquarum altitudines in ſyzygiis inſtaurare perpetuò nituntur, aqua autem à C & D continuò fluit verſus A & B, dum elevatio ab A verſus D & à B verſus C transfertur, & ideò inter A & D ut & inter B & C dantur duo motus contrarii quibus aqua accumulatur ità ut altitudines maximæ inter hæc puncta incidant fere circà octantes.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXVI. THEOR. XXVI.

hit eandem ſurſum maximè in ſyzygiis. Et hæ vires conjunctæ deſinunt trahere aquam deorſum & incipiunt trahere aquam ſurſum in octantibus ante ſyzygias, ac deſinunt trahere aquam ſurſum incipiuntque trahere aquam deorſum in octantibus poſt ſyzygias. Et inde maxima aquæ altitudo evenire poteſt in octantibus poſt ſyzygias, & minima in octantibus poſt quadraturas circiter; niſi quatenus motus aſcendendi vel deſcendendi ab his viribus impreſſus vel per vim inſitam aquæ paulò diutius perſeveret, vel per impedimenta alvei paulò citius ſiſtatur.

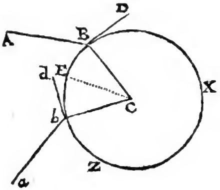
Corol. 21. Eâdem ratione, quâ materia globi juxta æquatorem redundans efficit ut nodi regrediantur, atque ideo per hujus incrementum augetur iſte regreſſus, per diminutionem verò diminuitur, & per ablationem tollitur; (t) ſi materia pluſquàm redundans tollatur, hoc eſt ſi globus juxta æquatorem vel depreſſior reddatur, vel rarior quàm juxta polos, orietur motus nodorum in conſequentia.

Corol. 22. Et inde viciſſim, ex motu nodorum innoteſcit conſtitutio globi. Nimirum ſi globus polos eoſdem conſtanter ſervat, & motus fit in antecedentia, materia juxta æquatorem redundat; ſi in conſequentia, deficit. Pone globum uniformem & perfectè circinatum in ſpatiis liberis primo quieſcere; dein impetu quocunque obliquè in ſuperficiem ſuam facto propelli, & motum inde concipere (u) partim circularem, partim in directum

rectum

(t) * *Si materia pluſquam redundans tollatur*, ſeu ſi materia redundans negativa fiat, motus nodorum qui erat in antecedentia, negativus evadet, hoc eſt, orietur motus nodorum in conſequentia.

(u) * *Partim circularem, partim in directum.* Vis A B quâ globus B X Z obliquè impellitur, ſecundum directionem A B, in duas vires reſolvitur, quarum altera ad centrum C juxta radium B C dirigitur, ei motum globi in directum producit, altera ſecundum tangentem B D radio B C normalem agit, & motum rotationis circà axem plano ABDXC perpendicularem inducit.



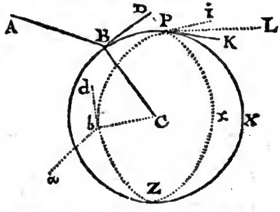
rectum. Quoniam globus iſte ad axes omnes per centrum ſuum tranſeuntes indifferenter ſe habet, neque propenſior eſt in unum axem, unumve axis ſitum, (x) quam in alium quemvis; perſpicuum eſt, quod is axem ſuum, axiſque inclinationem vi propriâ nunquam mutabit. (y) Impellatur jam globus obliquè, in eâdem illâ ſuperficiei parte, quâ prius, impulſu quocunque novo; & cùm citior vel ſerior impulſus effectum nil mutet, manifeſtum eſt, quod hi duo impulſus ſucceſſivè impreſſi eundem producent motum, ac ſi ſimul impreſſi fuiſſent, hoc eſt, eundem, ac ſi globus vi ſimplici ex utroque (*per legum corol.* 2.) compoſitâ impulſus fuiſſet, atque ideo ſimplicem, circa axem inclinatione datum. (z) Et par eſt ratio impulsûs ſecundi facti in locum alium quemvis in æquatore motus primi; ut & impulſus primi facti in locum quemvis in æquatore motus, quem impulſus ſecundus ſine primo generaret; atque ideo impulſuum amborum factorum in loca quæcunque: (a) genera-

(x) * *Quam in alium quemvis*; antequam motus imprimatur, perſpicuum eſt quod is axem ſuum rotationis axiſque inclinationem ad planum quodvis poſitione datum vi propriâ nunquam mutabit.

(y) * *Impellatur jam globus obliquè, in eadem illa ſuperficiei parte* B *quâ prius &c.*

(z) * *Et par eſt ratio impulsûs ſecundi facti in locum alium quemvis b, in æquatore B X Z motûs primi.* Reſolvitur enim vis a b in duas vires, quarum una ad centrum C dirigitur per radium b C; alia ſecundùm tangentem b d agit; & vires duæ utriuſque impulſus ad centrum C per radios B C, b C directæ in unuam componentur ſecundùm directionem radii alicujus E C agentem, quâ globus in directum movebitur uniformiter; vires autem B D, b d quæ rotationem globi producunt, eodem modo componuntur ad unicum rotationis motum efficiendum ac ſi fuiſſet vis B D in loco b impreſſa, aut vis b d, in loco B æquatoris B X Z motûs primi; vis enim B D eundem rotationis motum inducit, ſivè imprimatur in B, ſivè in b.

(a) *Generabunt hi &c.* Globus BPXZb duabus viribus A B, a b obliquè impellatur, iiſque ſingulis in duas alias vires, ſecundùm directiones B C, B D; b c, b d ut ſuprà diviſis, ſit B P X Z æquator quem punctum B vi B D deſcribit, & b P x Z æquator alter quem punctum b vi b d deſcriberet, horum æquatorum communes interſectiones P, Z; vires quæ ſecundum radios B C, b c, agunt in unam componentur, ut ſuprà, quâ globus movebitur uniformiter in directum; vires autem B D, b d,

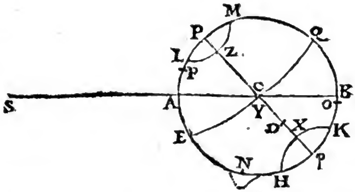


eoſdem rotationis motus ſeorſim producunt quos producerent, ſi in punctum P ſingulæ agerent ſeorſim, forentque PK, P i; ſed vires duæ P K, P i, in unam P L componuntur quâ globus circà æquatorem unicum rotatur. Quare vires ſeu impulſus A B, a b generabunt motum unicum ſimplicem ac

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXVI. THEOR. XXVI.

bunt hi eundem motum circularem ac ſi ſimul & ſemel in locum interſectionis æquatorum motuum illorum, quos ſeorſim generarent, fuiſſent impreſſi. Globus igitur homogeneus & perfectus non retinet motus plures diſtinctos, ſed impreſſos omnes componit & ad unum reducit, & quâtenus in ſe eſt, gyratur ſemper motu ſimplici & uniformi circa axem unicum, inclinatione ſemper invariabili datum. Sed nec vis centripeta inclinationem axis, aut rotationis velocitatem mutare poteſt. Si globus plano quocunque, per centrum ſuum & centrum in quod vis dirigitur tranſeunte, dividi intelligatur in duo hemiſphæria; urgebit ſemper vis illa utrumque hemiſphærium æqualiter, & propterea globum, quoad motum rotationis, (b) nullam in partem inclinabit. Addatur verò alicubi inter polum & æquatorem materia nova in formam montis cumulata, & hæc, perpetuo conatu recedendi à centro ſui motus, turbabit motum



uniformem; tum directum; tum circularem circà axem unicum inclinatione ſemper invariabili datum adeóque & ſibi ſemper parallelum.

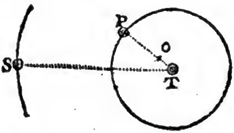
(b) * *Nullam in partem inclinabit.* Sit S virium centrum, A P Q E globus circà axem P p revolvens, S C B planum per centrum globi C & per centrum virium S tranſiens, globumque dividens in duo hemiſpheria A P B, A p B, vis centripeta urgebit ſemper utrumque hemiſpherium æqualiter versûs S, & propterea globum quoad motum rotationis nullam in partem inclinabit, manebitque proinde eadem axis P p inclinatio. Addatur verò alicubi, v. gr. in N, inter polum p & æquatorem E Y Q materia nova in formam montis cumulata, & hæc, perpetuo conatu recedendi à centro ſui motûs E, turbabit motum globi, quod partem globi N, cui adhæret validius trahat quam vis centrifuga partem oppoſitam O, magis depreſſam; & ideò faciet ut poli P, p, errent per ſuperficiem globi & circulos L Z M, H X K, circum ſe punctumque ſibi oppoſitum deſcribant. Nam cùm materia illa eſt in loco N, ſuâ majori vi centrifugâ facit ut polus p accedat ad H & polus P ad M, ſublato partium globi æquilibrio; undè materiâ illâ revolvente, poli H & M

circa

tum globi, facietque ut poli ejus errent per ipſius ſuperficiem, & circulos circum ſe punctumque ſibi oppoſitum perpetuò deſcribant. Neque corrigetur iſta vagationis enormitas, niſi locando montem illum vel in polo alterutro, quo in caſu (*per corol.* XXI.) nodi æquatoris progredientur; vel in æquatore, quâ ratione (*per corol.* XX.) nodi regredientur; vel denique ex alterâ axis parte addendo materiam novam, quâ mons inter movendum libretur, & hoc pacto nodi vel progredientur, vel recedent, perinde ut mons & hæcce nova materia ſunt vel polo vel æquatori propiores.

PROPOSITIO LXVII. THEOREMA XXVII.

Poſitis iiſdem attractionum legibus, dico quod corpus exterius S, *circa interiorum* P, T *commune gravitatis centrum* O, *radiis ad centrum illud ductis, deſcribit areas temporibus magis proportionales & orbem ad formam ellipſeos umbilicum in centro eodem habentis magis accedentem, quam circa corpus intimum & maximum* T, *radiis ad ipſum ductis, deſcribere poteſt.*



Nam corporis *S* attractiones verſus *T* & *P* componunt ipſius attractionem abſolutam, quæ magis dirigitur in corporum *T* & *P* commune gravitatis centrum *O*, quam in corpus maximum *T*, quæque quadrato diſtantiæ *S O* magis eſt proportionalis reciprocè; quam quadrato diſtantiæ *S T*: (c) ut rem perpendenti facile conſtabit.

PRO-

circulos H X K H, M Z L M deſcribunt in ſuperficie globi circà puncta P, p, ſive circa loca polorum antequam materia in N addita eſſet. *Neque corrigetur iſta vagationis enormitas, niſi locando montem illum vel in polo alterutro* p vel P ubi polum non magis in unam partem trahit quam in alteram; *vel in æquatore* E Y Q, ubi polum unum non magis trahit quam alterum, *vel ex alterâ axis parte* in O *addendo materiam novam quâ motus* in N *inter movendum libratur*, ſeu quâ axis in partes oppoſitas æque trahatur, vel etiam addendo materiam novam ex alterâ æquatoris parte in R, quâ polus P tantum trahatur quantum polus p à materiâ in N poſitâ.

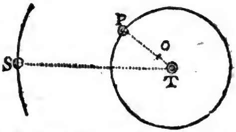
(c) * *Ut rem perpendenti facilè conſtabit.* Nam vis acceleratricis compoſitæ quâ corpus *S* à corporibus *T* & *P* trahi-

 tur

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXVIII. Theor. XXVIII.

PROPOSITIO LXVIII. THEOREMA XXVIII.

Poſitis iiſdem attractionum legibus, dico quod corpus exterius S, circa interiorum P & T commune gravitatis centrum O, radiis ad centrum illud ductis, deſcribit areas temporibus magis proportionales, & orbem ad formam ellipſeos umbilicum in centro eodem habentis magis accedentem, ſi corpus intimum & maximum his attractionibus perinde atque cætera agitetur, quam ſi id vel non attractum quieſcat, vel multò magis aut multò minus attractum aut multò magis aut multò minus agitetur.



(d) Demonſtratur eodem fere modo cum prop. LXVI. ſed argumento prolixiore, quod ideo prætereo. Sufficeret rem ſic æſtimare. Ex demonſtratione propoſitionis noviſſimæ liquet centrum, in quod corpus *S* conjunctis viribus urgetur, proximum eſſe communi centro gravitatis duorum illorum. Si coincideret hoc centrum cum centro illo communi, & quieſceret commune centrum gravitatis corporum trium; deſcriberent corpus *S* ex unâ parte, & commune centrum aliorum duorum ex alterâ parte, circa commune omnium centrum quieſcens, ellipſes accuratas. (e) Liquet hoc per corollarium ſecundum propoſitionis LVIII. col-

tur directio cadit inter lineas S P, S T, & cæteris paribus, magis accedit ad S T, quam ad S P (ſi modò corpus majus *T* cæteris paribus magis trahat quam corpus minus P) quemadmodum centrum gravitatis O, propius eſt corpori T quam corpori P; præterea manente diſtantiâ S T, vis acceleratrix corporis *S* versùs *P* augetur vel diminuitur, dum decreſcit vel creſcit diſtantia S P, & ſimiliter diſtantia S O, augetur vel diminuitur, prout creſcit vel decreſcit S P; Quare attractio abſoluta (ſeu tota) corporis *S* quadrato diſtantiæ S O magis proportionalis eſt reciproce, quam quadrato diſtantiæ S T; inſuper commune gravitatis centrum O ferè ſpectari poteſt tanquam punctum in quo corporum *T* & *P* vires phyſicè uniuntur.

(d) * *Demonſtratur eodem ferè modo &c.* Nimirum reſolvendo ſingulas attractiones corporis *S* versùs P & T in alias quarum duæ ad centrum O dirigantur & aliæ duæ directiones habeant rectæ T P parallelas.

(e) * *Liquet hoc &c.* Nam ſi centrum in quod corpus S conjunctis viribus urgetur

collatum cum demonſtratis in prop. LXIV. & LXV. Perturbatur iſte motus ellipticus aliquantulum per diſtantiam centri duorum à centro, in quod tertium *S* attrahitur. Detur præterea motus communi trium centro, & augebitur perturbatio. Proinde minima eſt perturbatio, ubi commune trium centrum quieſcit; hoc eſt, ubi corpus intimum & maximum *T* lege cæterorum attrahitur: fitque major ſemper, ubi trium commune illud centrum, (f) minuendo motum corporis *T*, moveri incipit, & magis deinceps magiſque agitatur.

Corol. Et hinc, ſi corpora plura minora revolvantur circa maximum, colligere licet quod orbitæ deſcriptæ propius accedent ad ellipticas, & arearum deſcriptiones fient magis æquabiles, ſi corpora omnia viribus acceleratricibus, quæ ſunt ut eorum vires abſolutæ directè & quadrata diſtantiarum inversè, ſe mutuo trahant agitentque, & orbitæ cujuſque umbilicus collocetur in communi centro gravitatis corporum omnium interiorum ([g] nimirum umbilicus orbitæ primæ & intimæ in centro gravitatis corporis maximi & intimi; ille orbitæ ſecundæ, in communi centro gravitatis corporum duorum intimorum; iſte ter-

tur coincideret cum centro O gravitatis communi duorum corporum *P* & *T* hæc duo corpora *P* & *T* ellipſes accuratas ſeorſim deſcriberent circum ſe mutuò & circum centrum illud O (per *coroll.* 2. *prop.* 58). Et prætereà corpus S ex una parte & duorum aliorum ſyſtema tanquam unum corpus conſideratum, hoc eſt, eorum commune gravitatis centrum O ex alterâ parte ellipſes accuratas deſcriberent circum commune trium *S*, *T*, *P* centrum gravitatis quieſcens (*per coroll.* 2 *prop.* 58.). Quod adhuc clarius intelligetur, ſi legantur propoſitiones 64. 65. Perturbatur iſte motus ellipticus aliquantulum per diſtantiam centri O, duorum *P* & *T* à centro in quod tertium *S* trahitur. *Detur prætereà motus* non uniformis in directum *communi trium centro*, (quod continget, ſi corpus intimum & maximum T, lege cæterorum non attrahitur, ut ex dictis patet) *& augebitur perturbatio, proindè &c.*

(f) * *Minuendo motum corporis T &c.* Quâ ratione fit ut centrum commune trium corporum, intereà dum corpora *S* & *P* moventur, nunc accedat ad corpus *T* nunc ab illo recedat, pro mutatâ corporum illorum diſtantiâ, & hinc magis ac magis perturbabitur motus ellipticus & magis ac magis deinceps agitabitur centrum commune gravitatis trium corporum.

(g) * *Nimirum umbilicus orbitæ primæ & intimæ*, quam v. gr. corpus parvum *P* hic deſcribit *in centro gravitatis corporis maximi & intimi T* quod ferè coincidit cum communi centro O gravitatis duorum *P* & *T* (*per caſ.* 1. *prop.* 65.); umbilicus *orbitæ ſecundæ* quàm v. gr. corpus *S* deſcribit *in communi centro gravitatis* O, *corporum duorum intimorum P* & *T*; umbilicus *tertiæ* orbitæ quam aliud corpus longius diſtans deſcriberet *in communi centro gravitatis trium interiorum P*, *T*, *S* &c. Nam idem eſt ratiocinium ſeu tria ſeu quatuor aut plura ſint corpora (ut *in prop.* 64. 65.)

Digitized by Google

tertiæ, in communi centro gravitatis trium interiorum; & ſic deinceps) quam ſi corpus intimum quieſcat & ſtatuatur communis umbilicus orbitarum omnium.

PROP. LXIX. THEOR. XXIX.

PROPOSITIO LXIX. THEOREMA XXIX.

In ſyſtemate corporum plurium, A, B, C, D, *&c. ſi corpus aliquod* A *trahit cætera omnia* B, C, D, *&c. viribus acceleratricibus quæ ſunt reciprocè ut quadrata diſtantiarum à trahente; & corpus aliud* B *trahit etiam cætera* A, C, D, *&c. viribus quæ ſunt reciprocè ut quadrata diſtantiarum à trahente: erunt abſolutæ corporum trahentium* A, B *vires ad invicem, ut ſunt ipſa corpora* A, B, *quorum ſunt vires.*

Nam attractiones acceleratrices corporum omnium *B*, *C*, *D* verſus *A*, paribus diſtantiis, ſibi invicem æquantur ex hypotheſi; & ſimiliter attractiones acceleratrices corporum omnium verſus *B*, paribus diſtantiis, ſibi invicem æquantur. Eſt autem abſoluta vis attractiva corporis *A* ad vim abſolutam attractivam corporis *B*, (h) ut attractio acceleratrix corporum omnium verſus *A* ad attractionem acceleratricem corporum omnium verſus *B*, paribus diſtantiis; (i) & ita eſt attractio acceleratrix corporis *B* verſus *A*, ad attractionem acceleratricem corporis *A* verſus *B*. Sed attractio acceleratrix corporis *B* verſus *A* eſt ad attractionem acceleratricem corporis *A* verſus *B*, ut maſſa corporis *A* ad maſſam corporis *B*; propterea quod vires motrices, quæ (per definitionem ſecundam, ſeptimam & octavam) ſunt ut vires acceleratrices & corpora attracta conjunctim, hic ſunt (per motus legem tertiam) (k) ſibi invicem æquales. Ergo abſoluta vis attractiva corporis *A* eſt ad abſolutam

(h) * *Ut attractio acceleratrix corporum omnium*, ſeu ut attractio acceleratrix uniuſcujuſque corporis verſus A &c. Patet enim quod ſi vis abſoluta dupla vel tripla &c. ſit, actio quoque acceleratrix in diſtantiâ datâ dupla vel tripla erit.

(i) * *Et ita eſt attractio acceleratrix corporis B verſus A, ad attractionem acceleratricem corporis A verſus* B, ob diſtantiam inter B & A; & A & B eandem.

(k) * *Sibi invicem æquales.* Si enim attractio acceleratrix corporis B verſus A dicatur V & attractio acceleratrix corporis A verſus B dicatur v; vis motrix in B, erit $B \times V$; in A erit $A \times v$; & (per leg. 3^{am}.) $B \times V = A \times v$. Unde $V : v = A : B$. Ergò *abſoluta* &c.

Digitized by Google

 PROP. LXIX. THEOR. XXIX.

lutam vim attractivam corporis *B*, ut maſſa corporis *A* ad maſſam corporis *B*. *Q. E. D.*

Corol. 1. Hinc ſi ſingula ſyſtematis corpora *A*, *B*, *C*, *D*, &c. ſeorſim ſpectata trahant cætera omnia viribus acceleratricibus, quæ ſunt reciprocè ut quadrata diſtantiarum à trahente; erunt corporum illorum omnium vires abſolutæ ad invicem ut ſunt ipſa corpora.

Corol. 2. Eodem argumento, ſi ſingula ſiſtematis corpora *A*, *B*, *C*, *D*, &c. ſeorſim ſpectata trahant cætera omnia viribus acceleratricibus, quæ ſunt vel reciprocè, vel directè in ratione dignitatis cujuſcunque diſtantiarum à trahente, quæve ſecundum legem quamcunque communem ex diſtantiis ab unoquoque trahente definiuntur; conſtat quod corporum illorum vires (l) abſolutæ ſunt ut corpora.

Corol. 3. In ſyſtemate corporum quorum vires decreſcunt in ratione duplicatâ diſtantiarum, ſi minora circa maximum in ellipſibus, umbilicum communem in maximi illius centro habentibus, (m) quam fieri poteſt accuratiſſimis revolvantur; & radiis ad maximum illud ductis deſcribant areas temporibus quam maximè proportionales: erunt corporum illorum vires abſolutæ ad invicem, aut accuratè aut quamproximè, in ratione corporum; & (n) contra. Patet *per corol. prop.* LXVIII. collatum cum hujus corol. 1.

Scho-

(l) * *Vires abſolutæ ſunt ut corpora.* Omnia enim ratiocinia eadem manent in hujus corollarii hypotheſi ac in demonſtratione & hypotheſi propoſitionis.

(m) * *Quam fieri poteſt accuratiſſimis revolvantur*, ut in duobus caſibus prop. 65. expoſitum eſt.

(n) * *Et contrà.* Si vires corporum illorum abſolutæ ſint ad invicem in ratione corporum, & minora corpora circà maximum in ellipſibus umbilicum communem in maximi illius centro habentibus; quam fieri poteſt, accuratiſſimis revolvantur, & radiis ad maximum illud ductis deſcribant areas temporibus quam maximè proportionales, corporum illorum ſeorſim ſpectatorum vires acceleratrices decreſcent in ratione duplicatâ diſtantiarum aut accuratè aut quam proximè; ut liquet ex *coroll.* 2°. *prop.* 58. collato cum prop. 64. 65.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXIX. Theor. XXIX.

Scholium.

His propoſitionibus manuducimur ad analogiam inter vires centripetas, & corpora centralia, ad quæ vires illæ dirigi ſolent. Rationi enim conſentaneum eſt, ut vires, quæ ad corpora diriguntur, pendeant ab eorundem naturâ & quantitate, ut fit in magneticis. Et quoties hujuſmodi caſus incidunt, æſtimandæ erunt corporum attractiones, aſſignando ſingulis eorum particulis vires proprias, & colligendo ſummas virium. Vocem attractionis hic generaliter uſurpo pro corporum conatu quocunque accedendi ad invicem: ſive conatus iſte fiat ab actione corporum vel ſe mutuo petentium, vel per ſpiritus emiſſos ſe invicem agitantium; ſive is ab actione ætheris, aut aëris, mediive cujuſcunque ſeu corporei ſeu incorporei oriatur corpora innatantia in ſe invicem utcunque impellentis. Eodem ſenſu generali uſurpo vocem *impulſus*, non ſpecies virium & qualitates phyſicas, ſed quantitates & proportiones mathematicas in hoc tractatu expendens ut in definitionibus explicui. In matheſi inveſtigandæ ſunt virium quantitates & rationes illæ, quæ ex conditionibus quibuſcunque poſitis conſequentur: deinde, ubi in phyſicam deſcenditur conferendæ ſunt hæ rationes cum phænomenis; ut innoteſcat quænam virium conditiones ſingulis corporum attractivorum generibus competant. Et tum demum de virium ſpeciebus, cauſis & rationibus phyſicis tutius diſputare licebit. Videamus igitur quibus viribus corpora ſphærica, ex particulis modo jam expoſito attractivis conſtantia, debeant in ſe mutuò agere; & quales motus inde conſequantur.

SEC.

Digitized by Google

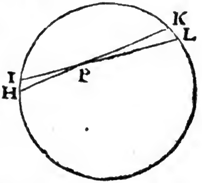
SECTIO XII.

De corporum ſphæricorum viribus attractivis.

PROPOSITIO LXX. THEOREMA XXX.

Si ad ſphæricæ ſuperficiei puncta ſingula tendant vires æquales centripetæ decreſcentes in duplicatâ ratione diſtantiarum à punctis: dico quod corpuſculum intra ſuperficiem conſtitutum his viribus nullam in partem attrahitur.

Sit *HIKL* ſuperficies illa ſphærica, & *P* corpuſculum intus conſtitutum. Per *P* agantur ad hanc ſuperficiem lineæ duæ *HK*, *IL*, arcus quàm minimos *HI*, *KL* intercipientes; &, ob triangula *HPI*, *LPK* (*per corol.* 3. *lem.* VII. (°) ſimilia, arcus illi erunt diſtantiis *HP*, *LP* proportionales; & ſuperficiei ſphæricæ particulæ quævis ad *HI* & *KL*, rectis per punctum *P* tranſeuntibus undique terminatæ, erunt in duplicatâ illâ ratione. Ergo vires harum particularum in corpus *P* exercitæ ſunt inter ſe æquales. Sunt enim ut particulæ directè, & quadrata diſtantiarum inversè. Et hæ duæ rationes componunt rationem æqualitatis. Attractiones igitur, in contrarias partes æqualiter factæ, ſe mutuo deſtruent. Et ſimili argumento, attractiones omnes per totam ſphæricam ſuperficiem à contrariis attractionibus deſtruuntur. Proinde corpus *P* nullam in partem his attractionibus impellitur. *Q. E. D.*



PRO-

(o) * *Similia &c.* Anguli enim HPI, LPK ad verticem oppoſiti, & anguli HIL, LKH eidem arcui inſiſtentes æquantur (per *prop.* 27. *Lib.* 3. Elem.) Nam arcus evaneſcentes IH, KL, pro ipſorum chordis uſurpari poſſunt (*per cor.* 3. *Lem.* 7.) Quarè arcus HI, KL diſtantiis HP, LP proportionales ſunt, & hinc ſi ad ſuperficiem ſphæricam per punctum P ductæ intelligantur innumeræ rectæ ad arcus quamminimos ut HI, KL terminatæ, rectæ illæ figuras ſolidas (pyramides vel conos) ſimiles formabunt quorum baſes in ſuperficie ſphæricâ ſimiles erunt, & proindè (*per Lem.* 5.) rationem habebunt duplicatam laterum HI, HL ſeu diſtantiarum HP, LP. *Ergo vires &c.*

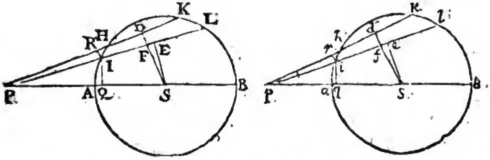
Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXXI. Theor. XXXI.

PROPOSITIO LXXI. THEOREMA XXXI.

Iiſdem poſitis, dico quod corpuſculum extra ſphæricam ſuperficiem conſtitutum attrahitur ad centrum ſphæræ; vi reciprocè proportionali quadrato diſtantiæ ſuæ ab eodem centro.

Sint $AHKB$, $ahkb$ æquales duæ ſuperficies ſphæricæ, centris S, s, diametris AB, ab deſcriptæ, & P, p corpuſcula ſita extrinſecus in diametris illis productis. Agantur à corpuſculis lineæ PHK, PIL, phk, pil, auferentes à circulis ma-



ximis AHB, ahb, æquales arcus HK, hk & IL, il: Et ad eas demittantur perpendicula SD, sd; SE, se; IR, ir; quorum SD, sd ſecent PL, pl in F & f: Demittantur etiam ad diametros perpendicula IQ, iq. Evaneſcant anguli DPE, dpe: & (p) ob æquales DS & ds, ES & es, lineæ PE, PF & pe, pf & lineola DF, df pro æqualibus habeantur; quippe quarum ratio ultima, angulis illis DPE, dpe ſimul evaneſcentibus, (q) eſt æqualitatis. His itaque conſtitutis, (r) erit PI ad PF ut RI ad DF, & pf ad pi ut df, vel DF ad ri; & ex æquo $PI \times pf$ ad $PF \times pi$ ut RI ad ri, hoc eſt

(per

(p) * *Et ob æquales* DS *&* ds, ES *&* es &c. (Per *Prop.* 14. *Lib.* 3. Elem.).

(q) * *Eſt æqualitatis.* Nam evaneſcentibus DPE, dpe angulis, puncta F, f coincidunt cum punctis E, e, & iis punctis coincidentibus, æquales ſunt lineæ PE, PF & pe, pf, & lineolæ DF, df ſunt differentiæ linearum DS & ES, ds & es, ac proindè (ob æquales DS & ds, ES & es) æquantur.

(r) * *Erit* PI *ad* PF *&c.* Ob parallelas RI, DF & ri, df.

Digitized by Google

(*per corol.* 3. *lem.* VII.) (ſ) ut arcus IH ad arcum ih. (t) Rurſus PI ad PS ut IQ ad SE, & ps ad pi ut se vel SE ad iq; & ex æquo $PI \times ps$ ad $PS \times pi$ ut IQ ad iq. Et conjunctis rationibus PI *quad.* $\times pf \times ps$ ad pi *quad.* $\times PF \times PS$, ut $IH \times IQ$ ad $ih \times iq$; hoc (u) eſt, ut ſuperficies circularis, quam arcus IH convolutione ſemicirculi AKB circa diametrum AB deſcribet, ad ſuperficiem circularem, quam arcus ih convolutione ſemicirculi akb circa diametrum ab deſcribet. Et vires, quibus hæ ſuperficies ſecundum lineas ad ſe tendentes attrahunt corpuſcula P & p, ſunt (*per hypotheſin*) ut ipſæ ſuperficies directè, & quadrata diſtantiarum ſuperficierum à corporibus inversè, hoc eſt, ut $pf \times ps$ ad $PF \times PS$. Suntque hæ vires ad ipſarum partes obliquas, quæ (factâ per legum corol. 2. reſolutione virium) ſecundum lineas PS, ps ad centra tendunt, ut PI ad PQ, & pi ad pq; id eſt (ob ſimilia triangula PIQ & PSF, piq & psf) ut PS ad PF, & ps ad pf. Unde, ex æquo, fit attractio corpuſculi hujus P verſus S ad attractionem corpuſculi p verſus s, ut $\frac{PF \times pf \times ps}{PS}$ ad $\frac{pf \times PF \times PS}{ps}$, hoc (x) eſt, ut ps *quad.* ad PS *quad.* Et ſimili argumento vires, quibus ſuperficies convolutione arcuum KL,

(ſ) *Ut arcus IH ad arcum ih.* Nam triangula evaneſcentia RHI, rhi ſimilia ſunt ob angulos ad R & r rectos (*ex hyp.*) & angulos ad H & h æquales, quos nempè metiuntur dimidii arcus æquales HK, hk (*per prop.* 32. *lib.* 3. *Elem.*) arcus enim HI, hi pro tangentibus in H & h uſurpari poſſunt (*per Cor.* 3. *Lem.* 7.). Quarè RI eſt ad ri, ut arcus IH ad arcum ih.

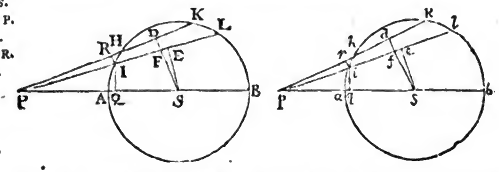
(t) * *Rurſus &c.* Ob triangula PQI, PES & pqi, pes ſimilia, eſt PI : PS = IQ : SE.

(u) 515. * *Hoc eſt, ut ſuperficies circularis, quam arcus IH convolutione ſemicirculi AKB circà diametrum AB deſcribet.* Nam circularis illa ſuperficies æqualis eſt facto ex peripheriâ circuli cujus radius IQ in arcum evaneſcentem IH, & ſimiliter ſuperficies circularis quam arcus ih, convolutione ſemicirculi akb circà diametrum ab, deſcribet, æquatur facto ex peripheria circuli cujus radius iq, in arcum evaneſcentem ih, (*252). Cum igitur peripheriæ circulorum ſint ut radii, facta illa erunt inter ſe ut $IH \times IQ$, ad $ih \times iq$.

(x) * *Hoc eſt &c.* Deleto in utrâque quantitate facto $PF \times pf$, erunt attractiones ut $\frac{ps}{PS}$ ad $\frac{PS}{ps}$, ſeu reducendo ad eundem denominatorem, ut $\frac{ps^2}{PS \times ps}$ ad $\frac{PS^2}{ps \times PS}$, hoc eſt, ut ps^2 ad PS^2.

Digitized by Google

K L, *k l* deſcriptæ trahunt corpuſcula, erunt ut *p s quad.* ad *P S quad.* inque eâdem ratione erunt vires ſuperficierum omnium circularium in quas utraque ſuperficies ſphærica, capiendo ſem-

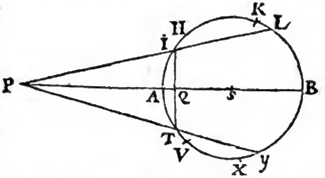


per *s d* æqualem *S D* & *s e* æqualem *S E*, diſtingui poteſt. Et, per compoſitionem, vires totarum ſuperficierum ſphæricarum in corpuſcula exercitæ erunt in eâdem ratione. *Q. E. D.*

PROPOSITIO LXXII. THEOREMA XXXII.

Si ad ſphæræ cujuſvis puncta ſingula tendant vires æquales centripetæ decreſcentes in duplicatâ ratione diſtantiarum à punctis; ac detur tum ſphæræ denſitas, tum ratio diametri ſphæræ ad diſtantiam corpuſculi à centro ejus: dico quod vis quâ corpuſculum attrahitur, proportionalis erit ſemidiametro ſphæræ.

Nam concipe corpuſcula duo ſeorſim à (y) ſphæris duabus attrahi, unum ab unâ & alterum ab alterâ; & diſtantias eorum



516. *Scholium.* Si ex alterâ parte diametri A B capiatur arcus AT=AI, & arcus TV=IH, vires obliquæ & æquales I Q, T Q ſibi mutuò opponentur, nullumque motum in corpuſculo *P* producent. Undè patet vires integras in corpuſculum *P* ab utroque hemiſpherio A H B, A T B ſeu à totâ ſuperficie ſphæricâ exercitas eſſe omninò viribus ad centrum S tendentibus æquales.

(y) * *A ſphæris duabus* homogeneis, ejuſdemque denſitatis itâ nempè ut ſub æqualibus voluminibus æquales materiæ quantitates ubique contineantur, & vis abſoluta attrahens ſit ſemper ut quantitas materiæ.

rum à ſphærarum centris proportionales eſſe diametris ſphærarum reſpectivè, ſphæras autem reſolvi in particulas ſimiles & ſimiliter poſitas ad corpuſcula. Et attractiones corpuſculi unius, factæ verſus ſingulas particulas ſphæræ unius, erunt ad attractiones alterius verſus analogas totidem particulas ſphæræ alterius, in ratione compoſitâ ex ratione particularum directè & ratione duplicatâ diſtantiarum inversè. Sed particulæ ſunt ut ſphæræ, hoc eſt, in ratione triplicatâ diametrorum, & diſtantiæ ſunt ut diametri; & ratio prior directè unà cum ratione poſteriore bis inversè eſt ratio diametri ad diametrum. *Q. E. D.*

Corol. 1. Hinc ſi corpuſcula in circulis, circa ſphæras ex materiâ æqualiter attractivâ conſtantes, revolvantur; ſintque diſtantiæ à centris ſphærarum proportionales earumdem diametris: Tempora periodica erunt æqualia.

Corol. 2. Et vice verſâ, ſi tempora periodica ſunt æqualia; diſtantiæ erunt proportionales diametris. Conſtant hæc duo per *corol.* 3. *prop.* IV.

Corol. 3. Si ad ſolidorum duorum quorumvis, ſimilium & æqualiter denſorum, puncta ſingula tendant vires æquales centripetæ decreſcentes in duplicatâ ratione diſtantiarum à punctis; vires, quibus corpuſcula, (z) ad ſolida illa duo ſimiliter ſita, attrahentur ab iiſdem, erunt ad invicem ut diametri ſolidorum.

PRO-

(z) * *Ad ſolida illa duo ſimiliter ſita*, ità ut diſtantiæ corpuſculorum à ſimilibus ſolidorum duorum particulis ſint ut eorum ſolidorum diametri.

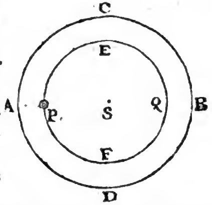
517. *Scholium.* Hinc ſi hujuſmodi ſphæra per centrum perforetur, æqualia erunt tempora omnia, quibus corpus de locis quibuſvis ad centrum uſque cadit; (per *cor.* 2. *prop.* 38.) & corpuſculorum in hujuſmodi ſphærâ per ſpatia libera minima revolventium tempora periodica erunt æqualia (per *cor.* 3. *prop.* 4.) atque ad hujus generis ſphæram pertinent quæ in prop. 51. 52 hujuſque corollariis demonſtrata ſunt.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXXIII. THEOR. XXXIII.

PROPOSITIO LXXIII. THEOREMA XXXIII.

Si ad ſphæræ alicujus datæ puncta ſingula tendant æquales vires centripetæ decreſcentes in duplicatâ ratione diſtantiarum à punctis: dico quod corpuſculum intra ſphæram conſtitutum attrahitur vi proportionali diſtantiæ ſuæ ab ipſius centro.



In ſphærâ *ABCD*, centro *S* deſcriptâ, locetur corpuſculum *P*; & centro eodem *S*, intervallo *SP*, concipe ſphæram interiorem *PEQF* deſcribi. Manifeſtum eſt, (*per prop.* LXX.) quod ſphæricæ ſuperficies concentricæ, ex quibus ſphærarum differentia *AEBF* componitur, attractionibus ſuis per attractiones contrarias deſtructis, nil agunt in corpus *P*. Reſtat ſola attractio ſphæræ interioris *PEQF*. Et (*per prop.* LXXII.) hæc eſt ut diſtantia *PS*. *Q. E. D.*

Scholium.

Superficies, ex quibus ſolida componuntur, hic non ſunt purè mathematicæ, ſed orbes adeo tenues, ut eorum craſſitudo inſtar nihili ſit; nimirum orbes evaneſcentes, ex quibus ſphæra ultimò conſtat, ubi orbium illorum numerus augetur & craſſitudo minuitur in infinitum. Similiter per puncta, ex quibus lineæ, ſuperficies & ſolida, componi dicuntur, intelligendæ ſunt particulæ æquales magnitudinis contemnendæ.

PROPOSITIO LXXIV. THEOREMA XXXIV.

Iiſdem poſitis, dico quod corpuſculum extra ſphæram conſtitutum attrahitur vi reciprocè proportionali quadrato diſtantiæ ſuæ ab ipſius centro.

Nam diſtinguatur ſphæra in ſuperficies ſphæricas innumeras concen-

Digitized by Google

centricas, & attractiones corpuſculi à ſingulis ſuperficiebus oriundæ erunt reciprocè proportionales quadrato diſtantiæ corpuſculi à centro (per *prop.* LXXI.) Et componendo fiet ſumma attractionum, hoc eſt attractio corpuſculi in ſphæram totam, in eâdem ratione. *Q. E. D.*

PROP. LXXIV. THEOR. XXXIV.

Corol. 1. Hinc in æqualibus diſtantiis à centris homogenearum ſphærarum attractiones ſunt ut ſphæræ. Nam (*per prop.* LXXII.) ſi diſtantiæ ſunt proportionales diametris ſphærarum, vires erunt ut diametri. Minuatur diſtantia major in illâ ratione; &, diſtantiis jam factis æqualibus, augebitur attractio in duplicatâ illâ ratione; ideoque erit ad attractionem alteram in triplicatâ illâ ratione, hoc eſt, in ratione ſphærarum.

Corol. 2. In diſtantiis quibuſvis attractiones ſunt ut ſphæræ applicatæ ad (a) quadrata diſtantiarum.

Corol. 3. Si corpuſculum, extra ſphæram homogeneam poſitum, trahitur vi reciprocè proportionali quadrato diſtantiæ ſuæ ab ipſius centro, conſtet autem ſphæra ex particulis attractivis; (b) decreſcet vis particulæ cujuſque in duplicatâ ratione diſtantiæ à particula.

PROPOSITIO LXXV. THEOREMA XXXV.

Si ad ſphæræ datæ puncta ſingula tendant vires æquales centripetæ, decreſcentes in duplicatâ ratione diſtantiarum à punctis; dico quod ſphæra quævis alia ſimilaris ab eâdem attrahitur vi reciprocè proportionali quadrato diſtantiæ centrorum.

Nam particulæ cujuſvis attractio eſt reciprocè ut quadratum diſtan-

(a) * *Ad quadrata diſtantiarum.* Nam æqualibus diſtantiis, attractiones ſunt ut ſphæræ (*per cor.* 1.) & æqualibus ſphæris, attractiones ſunt ut quadrata diſtantiarum à centris reciprocè (*per prop.* 74.). Quarè variantibus ſphæris & diſtantiis ſimul, attractiones ſunt ut ſphæræ ad quadrata diſtantiarum applicatæ.

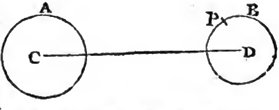
(b) * *Decreſcet vis particulæ cujuſque &c.* Nam cùm vis attractrix abſoluta quantitati materiæ proportionalis ſupponatur, ſi vis particularum ſphæræ in majori vel minori ratione quam duplicatâ diſtantiarum à particulis decreſceret, corpuſculum extrà ſphæram conſtitutum majori vel minori vi traheretur quam reciprocè proportionali quadrato diſtantiæ à centro ſphæræ.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXXV. Theor. XXXV.

diſtantiæ ſuæ à centro ſphæræ trahentis, (*per prop.* LXXIV.) & propterea eadem eſt, ac ſi vis tota attrahens manaret de corpuſculo unico ſito in centro hujus ſphæræ. Hæc autem attractio tanta eſt, quanta foret viciſſim attractio corpuſculi ejuſdem, ſi modo illud à ſingulis ſphæræ attractæ particulis eâdem vi traheretur, quâ ipſas attrahit. Foret autem illa corpuſculi attractio (*per prop.* LXXIV.) reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ ſuæ à centro ſphæræ; ideoque huic æqualis attractio ſphæræ eſt in eâdem ratione. (c) *Q. E. D.*

(d) *Corol.* 1. Attractiones ſphærarum, verſus alias ſphæras homogeneas, ſunt ut ſphæræ trahentes applicatæ ad quadrata diſtantiarum centrorum ſuorum à centris earum, quas attrahunt.

Corol. 2. Idem valet, ubi ſphæra attracta etiam attrahit. Namque hujus puncta ſingula trahent ſingula alterius eâdem vi, quâ ab ipſis viciſſim trahuntur; ideoque cum in omni attractione urgeatur (per legem 3.) tam punctum attrahens, quam punctum



(c) * *Q. E. D.* Demonſtratio clarius intelligitur appoſitâ figurâ. Sphæra *A* ſphæram ſimilarem *B* attrahat, & vis acceleratrix quâ ſphæræ *B* particula quævis *P* in centrum C ſphæræ *A* urgetur eſt reciprocè ut quadratum diſtantiæ P C à centro ſphæræ trahentis (*per prop.* 74.) & propterea eadem eſt ac ſi vis tota attrahens manaret de corpuſculo unico C ſito in centro ſphæræ trahentis *A*; vis autem tota acceleratrix quâ ſphæra integra *B* à corpuſculo C trahitur, tanta eſt quanta foret viciſſim attractio ejuſdem corpuſculi C versùs centrum D ſphæræ *B*, ſi modò illud corpuſculum C à ſingulis ſphæræ *B* particulis eâdem vi traheretur quâ ipſas attrahit, ut manifeſtum eſt. Foret autem (in hâc hyp.) illa corpuſculi C verſus centrum D attractio (*per prop.* 74.) reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ ſuæ C D à centro D ſphæræ *B*; Quarè attractio ſphæræ *B* verſus C ut pote æqualis attractioni ſuppoſitæ corpuſculi C verſus D, eſt in eâdem ratione *inversâ* quadrati diſtantiæ C D. *Q. E. D.*

(d) * *Cor.* 1. Vis acceleratrix quâ ſphæræ *B* particula quævis *P* verſus centrum C ſphæræ *A* urgetur, eſt ut ſphæra *A* applicata ad quadratum diſtantiæ C P, (*per cor.* 2. *prop.* 74.) & propterea eadem eſt ac ſi vis tota attrahens quæ eſſet ut ſphæra *A* manaret de corpuſculo unico C ſito in centro ſphæræ trahentis *A*; & ſimiliter ſphæra tota *B* ad centrum C trahitur ut corpuſculum unicum in centro D ſitum (*per prop.* 75.) vis autem acceleratrix quâ corpuſculum in centro D poſitum verſus C trahitur, eſt ut vis abſoluta corpuſculi C ſeu ut ſphæra *A* directè & quadratum diſtantiæ C D inversè. Quare *attractiones ſphærarum* acceleratrices *versùs alias ſphæras homogeneas ſunt ut ſphæræ trahentes applicatæ* &c.

Digitized by Google

tum attractum, (e) geminabitur vis attractionis mutuæ, conſervatis proportionibus. DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXXV. THEOR. XXXV.

Corol. 3. Eadem omnia, quæ ſuperiùs de motu corporum circa umbilicum conicarum ſectionum (f) demonſtrata ſunt, obtinent, ubi ſphæra attrahens locatur in umbilico: & corpora moventur extra ſphæram.

Corol. 4. Ea verò, quæ de motu corporum circa centrum conicarum ſectionum (g) demonſtrantur, (h) obtinent ubi motus peraguntur intra ſphæram.

PRO-

(e) * *Geminabitur vis attractionis mutuæ* &c. Si ſphæra *A* ſphæram *B* vi propriâ attrahente deſtitutam trahat, erit vis acceleratrix ſphæræ *B* versùs centrum C ſphæræ trahentis *A*, ut $\frac{A}{CD^2}$, (*per cor.* 2. *prop.* 75.) jam ſi ſphæræ *B* vis propria attrahens tribuatur, vis acceleratrix ſphæræ *A* versùs *B* indè genita, erit ut $\frac{B}{CD^2}$, & vis illius motrix (15) ut $\frac{B \times A}{CD^2}$, quæ (*per Leg.* 3.) æquatur vi motrici ſphæræ *B* versùs ſphæram *A* ex reactione ſphæræ *A* genitæ. Quarè dividendo per *B*, vis acceleratrix ſphæræ *B*, versùs centrum C ſphæræ *A*, rursùs erit ut $\frac{A}{CD^2}$, ideóque attractio tota acceleratrix ſphæræ *B*, versùs centrum ſphæræ *A*, erit in diſtantiâ datâ ut ſphæra ipſa *A*, & in diſtantiâ variabili ut ſphæra *A* ad quadratum diſtantiæ applicata. Quod ſimiliter dicendum eſt de attractione ſphæræ *A* versùs centrum ſphæræ *B*. Obſervandum verò eſt quod ſi, ut hîc ſupponitur, vires abſolutæ particularum utriuſque ſphæræ *A* & *B* æquales ſint & utraque vi propriâ attractivâ quantitati materiæ proportionali prædita ſit, attractio mutua dupla evadit.

(f) * *Demonſtrata ſunt.* (In Sect. 3â. 6â. 7â. 9â. 11â.

(g) * *Demonſtrantur.* (Prop. 10. 38. 47. 51. 52. 64.)

(h) * *Obtinent &c.* (per prop. 73.) ubi motus peraguntur intrà ſphæram, hoc eſt, ubi intrà ſphæram ſolidam via corporibus motis libera conceditur.

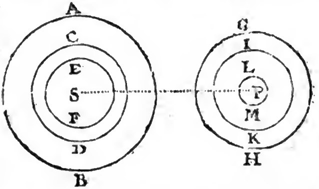
Digitized by Google

PROP. LXXVI. THEOR. XXXVI.

PROPOSITIO LXXVI. THEOREMA XXXVI.

Si ſphæræ in progreſſu à centro ad circumferentiam (quoad materiæ denſitatem & vim attractivam) utcunque diſſimilares, in progreſſu verò per circuitum ad datam omnem à centro diſtantiam ſunt undique ſimilares; & vis attractiva puncti cujuſque decreſcit in duplicatâ ratione diſtantiæ corporis attracti: dico quod vis tota, quâ hujuſmodi ſphæra una attrahit aliam, ſit reciprocè proportionalis quadrato diſtantiæ centrorum.

Sunto ſphæræ quotcunque concentricæ ſimilares *AB*, *CD*, *EF*, &c. quarum interiores additæ exterioribus componant materiam denſiorem versùs centrum, vel ſubductæ relinquant tenuiorem; & hæ (*per prop.* LXXV.) trahent ſphæras alias quotcunque concentricas ſimilares *GH*, *IK*, *LM*, &c. ſingulæ ſingulas, viribus reciprocè proportionalibus quadrato diſtantiæ *SP*. Et (i) componendo vel dividendo, ſumma virium illarum omnium, vel exceſſus aliquarum ſupra alias; hoc eſt, vis, quâ ſphæra tota, ex concentricis quibuſcunque vel concentricarum differentiis compoſita *AB*, trahit totam ex concentricis quibuſcunque vel concentricarum differentiis compoſitam *GH*; erit in eâdem ratione. Augeatur



(i) * *Et componendo vel dividendo &c.* Hoc eſt, in datâ diſtantiâ centrorum communium S, P, ſit attractio ſphærarum G H, I K, L M à ſphærâ A B, *a*, *b*, *c*; à ſphærâ C D, *d*, *e*, *f*; à ſphærâ E F, *g*, *h*, *i*: variante verò illâ diſtantiâ communium centrorum S, P vires omnes illæ mutabuntur, reſpectivè ſecundum rationem illam inverſam quadrati diſtantiæ Centrorum, ergò ſumma vel differentia virium quibus omnes ſphæræ G H, I K, L M à ſphæris A B, C D, E F attrahuntur in primâ diſtantiâ, erit ad ſummam vel differentiam virium in altero caſu inversè ut quadrata diſtantiarum.

Digitized by Google

tur numerus ſphærarum concentricarum in infinitum ſic, ut materiæ denſitas unà cum vi attractivâ, in progreſſu à circumferentiâ ad centrum, ſecundum legem quamcunque creſcat vel decreſcat; &, additâ materiâ non attractivâ, compleatur ubivis denſitas deficiens, eo ut ſphæræ acquirant formam quamvis optatam; & vis, quâ harum una attrahet alteram, erit etiamnum, per argumentum ſuperius, in eâdem illâ diſtantiæ quadratæ ratione inversâ. *Q. E. D.*

Corol. 1. Hinc ſi ejuſmodi ſphæræ complures ſibi invicem per omnia ſimiles, ſe mutuò trahant; attractiones acceleratrices ſingularum in ſingulas erunt, in æqualibus quibuſvis centrorum diſtantiis, ut ſphæræ attrahentes.

(k) *Corol.* 2. Inque diſtantiis quibuſvis inæqualibus, ut ſphæræ attrahentes applicatæ ad quadrata diſtantiarum inter centra.

Corol. 3. Attractiones verò motrices, ſeu pondera ſphærarum in ſphæras erunt, in æqualibus centrorum diſtantiis, ut ſphæræ attrahentes & attractæ conjunctim, id eſt, ut contenta ſub ſphæris per multiplicationem producta.

(l) *Corol.* 4. Inque diſtantiis inæqualibus, ut contenta illa directè & quadrata diſtantiarum inter centra inversè.

Corol. 5. Eadem valent, ubi attractio oritur à ſphæræ utriuſque virtute attractiva mutuo exercita in ſphæram alteram.

(k) * *Cor.* 2. Attractiones acceleratrices ſphærarum GH, IK, LM &c. in ſphæras AB, CD, EF, &c. ſingularum versùs ſingulas ſunt (per *cor.* 1. *prop.* 75.) ut ſphæræ trahentes applicatæ ad quadrata diſtantiarum inter centra S, P. Quarè componendo vel dividendo ſumma attractionum illarum omnium vel exceſſus aliquarum ſuprà alias, hoc eſt, tota attractio acceleratrix ſphæræ compoſitæ GIMH versùs ſphæram compoſitam ACFB erit ut ſumma vel differentia ſphærarum concentricarum ſimilarium AB, CD, EF, &c. ad quadratum diſtantiæ SP applicata. Sed ſi ſphæræ trahentes ſunt ſibi invicem per omnia ſimiles, ſummæ illæ vel differentiæ ſunt ut ſphæræ ipſæ. Quarè patet veritas Coroll. 1. & 2.

(l) * *Cor.* 4. Corollaria 3um. & 4um. ex corollariis 1°. & 2°. manifeſta ſunt; Nam attractionis quantitas motrix, ſeu pondus ſphæræ attractæ in ſphæram trahentem æquipollet facto ex vi acceleratrice ductâ in quantitatem materiæ, ſeu in maſſam ſphæræ attractæ; vis autem acceleratrix (*per cor. 2 prop. hujus*) eſt ut ſphæra attrahens applicata ad quadratum diſtantiæ inter centra, & quantitates materiæ in ſphæris per omnia ſimilibus, ſunt ut volumina, ſeu ut ſphæræ ipſæ. Quarè attractiones motrices ſeu pondera ſphærarum in ſphæras, ſunt ut contenta ſub ſphæris per multiplicationem producta directè & quadrata diſtantiarum inter centra inversè.

ram. Nam viribus ambabus geminatur attractio, proportione ſervatâ.

Corol. 6. Si hujuſmodi ſphæræ aliquæ circa alias quieſcentes revolvantur, ſingulæ circa ſingulas; ſintque diſtantiæ inter centra revolventium & quieſcentium proportionales quieſcentium diametris; æqualia erunt tempora periodica.

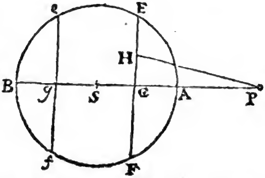
Corol. 7. Et viciſſim, ſi tempora periodica ſunt æqualia; diſtantiæ erunt (m) proportionales diametris.

Corol. 8. Eadem omnia, quæ ſuperius de motu corporum circa umbilicos conicarum ſectionum demonſtrata ſunt, obtinent; ubi ſphæra attrahens formæ & conditionis cujuſvis jam deſcriptæ locatur in umbilico.

Corol. 9. (n) Ut & ubi gyrantia ſunt etiam ſphæræ attrahentes, conditionis cujuſvis jam deſcriptæ.

PROPOSITIO LXXVII. THEOREMA XXXVII.

Si ad ſingula ſphærarum puncta tendant vires centripetæ proportionales diſtantiis punctorum à corporibus attractis: dico quod vis compoſita, quâ ſphæræ duæ ſe mutuo trahent, eſt ut diſtantia inter centra ſphærarum.



Caſ. 1. Sit *A E B F* ſphæra; *S* centrum ejus; *P* corpuſculum attractum, *P A S B* axis ſphæræ per centrum corpuſculi tranſiens; *E F*, *e f* plana duo, quibus ſphæra ſecatur, huic axi perpendicularia, & hinc inde æqualiter diſtantia à centro ſphæræ; *G*, *g* interſectiones planorum & axis; & *H* punctum quodvis in plano *E F*. Puncti *H* vis centripeta in corpuſculum *P*, ſecundum lineam *P H* exercita, eſt ut diſtantia *P H*; & (per le-

(m) * *Proportionales diametris.* Cor. 6. & 7. conſtant per *cor.* 3. *prop.* 4ª,

(n) * *Ut & ubi gyrantia &c.* Patet per *Cor.* 2. *Prop.* 58.

legum corol. 2.) ſecundum lineam *P G*, ſeu verſus centrum *S*, ut longitudo *P G*. Igitur punctorum omnium in plano *E F*, hoc eſt plani totius vis, quâ corpuſculum *P* trahitur verſus centrum *S*, eſt ut diſtantia *P G* multiplicata per numerum punctorum, id eſt, ut ſolidum quod continetur ſub plano ipſo *E F* & diſtantia illa *P G*. Et ſimiliter vis plani *e f*, quâ corpuſculum *P* trahitur verſus centrum *S*, eſt ut planum illud ductum in diſtantiam ſuam *P g*, ſive ut huic æquale planum *E F* ductum in diſtantiam illam *P g*; & ſumma virium plani utriuſque ut planum *E F* ductum in ſummam diſtantiarum *P G* + *P g*, id eſt, ut planum illud ductum in duplam centri & (o) corpuſculi diſtantiam *P S*, hoc eſt, ut duplum planum *E F* ductum in diſtantiam *P S*, vel ut ſumma æqualium planorum *E F* + *e f* ducta in diſtantiam eandem. Et ſimili argumento, vires omnium planorum in ſphærâ totâ, hinc inde æqualiter à centro ſphæræ diſtantium, ſunt ut ſumma planorum ducta in diſtantiam *P S*, hoc eſt, ut ſphæra tota & ut diſtantia *P S* conjunctim. *Q. E. D.* (p)

Caſ. 2. Trahat jam corpuſculum *P* ſphæram *A E B F*. Et eodem argumento probabitur quod vis, quâ ſphæra illa trahitur, erit ut diſtantia *P S*. *Q. E. D.*

Caſ. 3. Componatur jam ſphæra altera ex corpuſculis innumeris *P*; & quoniam vis, quâ corpuſculum unumquodque trahitur, eſt ut diſtantia corpuſculi à centro ſphæræ primæ, & (q) ut ſphæra eadem conjunctim, atque ideo eadem eſt, ac ſi prodiret tota de corpuſculo unico in centro ſphæræ; vis tota, quâ corpuſcula omnia in ſphæra ſecunda trahuntur, hoc eſt, quâ ſphæra illa tota trahitur, eadem erit, ac ſi ſphæra illa traheretur vi prodeunte de corpuſculo unico in centro ſphæræ primæ, & (r) propterea proportionalis eſt diſtantiæ inter centra ſphærarum. *Q. E. D.*

Caſ.

(o) * *Et corpuſculi diſtantiam P S.* Eſt enim P g = P G + 2 G S, adeoque P g + P G = 2 P G + 2 G S = 2 P S.

(p) * *Q. E. D.* Obſervandum eſt vires obliquas G H, in plano quovis E F, ex utrâque axis P B parte in æqualibus diſtantiis ſumptas eſſe æquales & oppoſitas, nullumque proindè motum producere.

(q) * *Et ut ſphæra eadem conjunctim*, per caſ. 1.

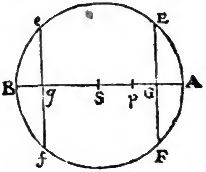
(r) * *Et propterea proportionalis eſt diſtantiæ &c.* Si data eſt ſphæra prima trahens per caſ. 2.

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXXVII. Theor. XXXVII.

Caſ. 4. Trahant ſphæræ ſe mutuo, & vis geminata proportionem priorem ſervabit.

Caſ. 5. Locetur jam corpuſculum p intra ſphæram $AEBF$; & quoniam vis plani ef in corpuſculum eſt ut ſolidum contentum ſub plano illo & diſtantiâ pg; & vis contraria plani EF ut ſolidum contentum ſub plano illo & diſtantiâ pG; (f) erit vis ex utrâque compoſita ut differentia ſolidorum, hoc eſt, ut ſumma æqualium planorum ducta in ſemiſſem differentiæ diſtantiarum, id eſt, ut ſumma illa ducta in pS diſtantiam corpuſculi à centro ſphæræ. Et ſimili argumento, attractio planorum omnium EF, ef in ſphærâ totâ, hoc eſt, attractio ſphæræ totius, eſt conjunctim ut ſumma planorum omnium, ſeu ſphæra tota, & ut pS diſtantiâ corpuſculi à centro ſphæræ. *Q. E. D.*



Caſ. 6. Et ſi ex corpuſculis innumeris p componatur ſphæra nova, intra ſphæram priorem $AEBF$ ſita; probabitur ut prius quod attractio, ſive ſimplex ſphæræ unius in alteram, ſive mutua utriuſque in ſe invicem, erit ut diſtantia centrorum pS. *Q. E. D.*

PROPOSITIO LXXVIII. THEOREMA XXXVIII.

Si ſphæræ in progreſſu à centro ad circumferentiam ſint utcunque diſſimilares & inæquabiles, in progreſſu vero per circuitum ad datam omnem à centro diſtantiam ſint undique ſimilares; & vis attractiva puncti cujuſque ſit ut diſtantia corporis attracti: dico quod vis tota quâ hujuſmodi ſphæræ duæ ſe mutuo trahunt ſit proportionalis diſtantiæ inter centra ſphærarum.

Demonſtratur ex propoſitione præcedente eodem modo; quo

(f) * *Erit vis ex utrâque compoſita ut differentia ſolidorum, hoc eſt, ut* $ef \times pg - EF \times pG$. Eſt autem $Sg = SG$, adeóque $pg, - pG = pS + SG - pG = 2pS$; Quarè cùm ſit etiam $EF = ef$, erit $ef \times pg - EF \times pG = ef \times pg - pG = 2ef \times pS = \overline{ef + EF} \times pS$. Si punctum G eſt inter p & S ſitum, vis tota erit ut $ef \times pg + EF \times pG$, & quoniam eſt ſemper $Sg = SG$, atque in hoc caſu $pg + pG = pS + SG + pG = 2pS$, ſimiliter invenietur vis tota ut $\overline{ef = EF} \times pS$.

Digitized by Google

PROP. LXXVIII. THEOR. XXXVIII.

quo propoſitio LXXVI. ex propoſitione LXXV. demonſtrata fuit. (§)

Corol. Quæ ſuperius in propoſitionibus X. & LXIV. de motu corporum circa centra conicarum ſectionum demonſtrata ſunt, valent ubi attractiones omnes fiunt vi corporum ſphæricorum conditionis jam deſcriptæ, & attracta corpora ſunt ſphæræ conditionis ejuſdem.

Scholium.

Attractionum caſus duos inſigniores jam dedi expoſitos; nimirum ubi vires centripetæ decreſcunt in duplicatâ diſtantiarum ratione, vel creſcunt in diſtantiarum ratione ſimplici; efficientes in utroque caſu ut corpora gyrentur in conicis ſectionibus, & componentes corporum ſphæricorum vires centripetas eâdem lege, in receſſu à centro, decreſcentes vel creſcentes cum ſeipſis: Quod eſt notatu dignum. Caſus cæteros, qui concluſiones minus elegantes exhibent, ſigillatim percurrere longum eſſet. Malim cunctos methodo generali ſimul comprehendere ac determinare ut ſequitur.

LEM-

(§) Quæ in corollariis *prop.* 76. ubi attractio ſphæræ verſùs ſphæram erat quadrato diſtantiæ centrorum reciprocè proportionalis, demonſtrata ſunt, ea, mutatis mutandis, ad caſum hujus propoſitionis 78. transferri poſſunt. Nimirum ſi ejuſmodi ſphæræ complures per omnia ſimiles ſe mutuò trahant, attractiones acceleratrices ſingularum in ſingulas erunt ut ſphæræ trahentes & diſtantiæ inter centra conjunctim; attractiones verò motrices ut ſphæra attrahentes & attractæ & diſtantiæ inter centra conjunctim, eademque valent ubi attractio oritur à ſphæræ utriuſque virtute attractivâ mutuò exercitâ in ſphæram alteram.

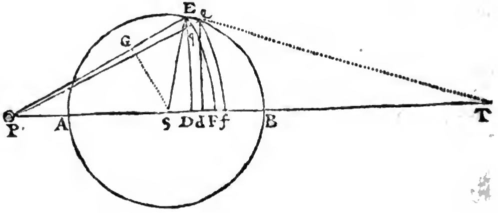
Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXXVIII. LEMMA XXIX.

LEMMA XXIX.

Si deſcribantur centro S *circulus quilibet* AEB, *& centro* P *circuli duo* EF, ef, *ſecantes priorem in* E, e, *lineamque* PS *in* F, f; *& ad* PS *demittantur perpendicula* ED, ed: *dico quod, ſi diſtantia arcuum* EF, ef *in infinitum minui intelligatur, ratio ultima lineæ evaneſcentis* Dd *ad lineam evaneſcentem* Ff *ea ſit, quæ lineæ* PE *ad lineam* PS.

Nam ſi linea *Pe* ſecet arcum *EF* in *q*; & recta *Ee*, quæ cum arcu evaneſcente *Ee* coincidit, producta occurrat rectæ *PS* in *T*; & ab *S* demittatur in *PE* normalis *SG*: ob (t) ſimilia triangula *DTE*, *dTe*, *DES*; erit *Ed* ad *Ee*, ut *DT*



ad *TE*, ſeu *DE* ad *ES*; & ob (u) triangula *Eeq*; *ESG* (*per lem.* VIII. & *corol.* 3. *lem.* VII.) ſimilia, erit *Ee* ad *eq* ſeu *Ff* ut *ES* ad *SG*; & ex æquo, *Dd* ad *Ff* ut *DE* ad *SG*; hoc eſt (ob ſimilia triangula *PDE*, *PGS*) ut *PE* ad *PS*. *Q. E. D.*

PRO-

(t) * *Ob ſimilia triangula* DTE, dTe; DES. Ob parallelas DE, de, triangula DTE, dTe ſimilia ſunt; & quoniam recta TE circulum AEB tangit in E, erit angulus SET rectus, & proindè demiſſo ex puncto E ad baſim ST perpendiculo ED, erit triangulum DES ſimile triangulo DTE (*prop.* 8. *Lib.* 6. *Elem.*).

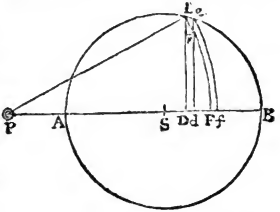
(u) * *Et ob triangula* Eeq, ESG *&c.* Anguli ad G & q recti ſunt & proindè æquales; & quoniam anguli PEq, SEe ſunt quoque recti & æquales, (ex naturâ circuli) detracto communi angulo SEq, anguli reſidui GES, qEe, erunt etiam æquales. Quarè triangula Eeq, ESG ſunt ſimilia (*prop.* 4. *lib.* 6. *Elem.*).

Digitized by Google

PROPOSITIO LXXIX. THEOREMA XXXIX.

Si ſuperficies ob latitudinem infinitè diminutam jamjam evaneſcens E F f e, *convolutione ſui circa axem* P S, *deſcribat ſolidum ſphæricum concavo-convexum, ad cujus particulas ſingulas æquales tendant æquales vires centripetæ: dico quod vis, quâ ſolidum illud trahit corpuſculum ſitum in* P, *eſt in ratione compoſitâ ex ratione ſolidi* D E $q \times$ F f, *& ratione vis quâ particula data in loco* F f *traheret idem corpuſculum.*

Nam ſi primò conſideremus vim ſuperficiei ſphæricæ *FE*, quæ convolutione arcus *FE* generatur, & à linea *d e* ubivis ſecatur in *r*; erit ſuperficiei pars annularis, convolutione arcus *r E* genita, ut lineola *D d*, manente ſphæræ radio *P E* (uti (x) demonſtravit *Archimedes* in lib. de *Sphærâ* & *Cylindro.*) Et hujus vis, ſecundum lineas *P E* vel *P r* undique in (y) ſuperficie conicâ ſitas exercita, ut hæc ipſa ſuperficiei pars annularis; hoc eſt, ut lineola *D d*, vel, quod perinde eſt, ut rectangulum ſub dato ſphæræ radio *P E* & lineola illa *D d*: at ſecundum lineam *P S* ad centrum *S* tendentem minor in ratione *P D* ad *P E*, (z) ideoque ut *P D* × *D d*. Dividi jam intelligatur



(x) 518. *Uti demonſtravit Archimedes &c.* Facilis eſt demonſtratio. Quoniam enim angulus P E r rectus eſt (ex naturâ circuli) erit angulus D E r æqualis angulo D P E, ob ſummam angulorum D P E + P E D recto P E r æqualem. Undè ſi ex puncto r in lineam D E demiſſum intelligatur perpendiculum quod æquale erit lineæ D d, conſtruetur triangulum evaneſcens ſimile triangulo E P D, eritque adeò D E : P E = D d : E r = $\frac{PE \times Dd}{DE}$, ſed (515) zona circularis convolutione arcûs r E genita, eſt ut rectangulum r E × D E; Quare ſi in hoc rectangulo loco r E ſubſtituatur valor ipſius modò inventus, erit zona ut P E × D d, hoc eſt, ob datum radium P E, ut D d. *Q. E. D.*

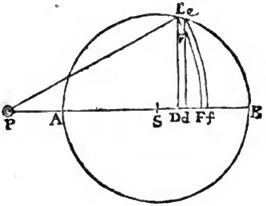
(y) * *In ſuperficie conicâ.* Nam in convolutione puncti E, linea P E ſuperficiem conicam deſcribit.

(z) * *Ideóque ut P D × D d.* Nam ſi vis ſecundum directionem P E agens per lineam P E exponatur, vis illius pars quæ agit

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXXIX. THEOR. XXXIX.

tur linea $D F$ in particulas innumeras æquales, quæ ſingulæ nominentur $D d$; & ſuperficies FE dividetur (a) in totidem æquales annulos, quorum vires erunt ut ſumma omnium $PD \times Dd$, hoc eſt, ut $\frac{1}{2} PFq - \frac{1}{2} PDq$, ideoque ut (b) DE *quad.* Ducatur jam ſuperficies FE in altitudinem Ff; & fiet



ſolidi $EFfe$ vis exercita in corpuſculum P ut $DEq \times Ff$: putâ ſi detur vis quam particula aliqua data Ff in diſtantiâ PF exercet

agit ſecundùm directionem P S, exponetur per lineam P D; erit P E ad P D ut rectangulum $PE \times Dd$ ad rectangulum $PD \times Dd$, quod proindè vim illam ſecundùm directionem P D exhibebit, vires autem obliquæ E D ab utrâque axis P B parte ſe mutuò deſtruunt.

(a) * *Dividetur in totidem æquales annulos.* (Per not. 518.).

(b) * *Et ſuperficies F E dividetur in totidem æquales annulos, quorum vires erunt ut ſumma omnium P D × D d, hoc eſt, ut $\frac{1}{2} PFq - \frac{1}{2} PDq$, ideoque ut D E quad.* Scilicet omnes P D, dum ex P D in P F mutantur uniformiter creſcendo progreſſionem Arithmeticam faciunt, quoniam omnes particulæ D d quibus lineæ P D ſucceſſive augentur ſunt æquales: ergo omnium P D ſumma eâ ratione invenitur quâ ſummæ progreſſionum Arithmeticarum obtinentur, nempe primum & ultimum progreſſionis terminum ſimul junctos multiplicando per numerum terminorum progreſſionis, & dimidium facti ſumendo; Progreſſionis verò hujuſce primus terminus eſt P D, ultimus P F numerus vero terminorum D F, ſiquidem D F eſt ſumma incrementorum æqualium evaneſcentium lineæ P D, ergo ſumma omnium P D eſt $\frac{\overline{PF + PD} \times DF}{2}$ ſive (quia D F eſt differentia linearum P F & P D) eſt ſumma omnium $PD = \frac{\overline{PF + PD} \times \overline{PF - PD}}{2}$ ſed (*per 6. 2. Elem.*) factum ſummæ & differentiæ duarum linearum æquatur differentiæ quadratorum ipſorum, ergo $\frac{\overline{PF + PD} \times \overline{PF - PD}}{2} = \frac{1}{2} PF^2 - \frac{1}{2} PD^2$ & ſumma omnium $PD \times Dd = \overline{\frac{1}{2} PF^2 - \frac{1}{2} PD^2} \times Dd$, ſed D d eſt particula quæ in omnibus hiſce caſibus ut eadem aſſumitur, ergo vires totius ſuperficiei F E quæ ſunt ut ſumma omnium $PD \times Dd$ ſunt ut $\frac{1}{2} PF^2 - \frac{1}{2} PD^2$ ſive ut $PF^2 - PD^2$ ſed PF^2 eſt æquale PE^2 per conſtr. & $PE^2 - PD^2 = DE^2$ (*per 47. 1. El.*) ergo vires ſuperficiei F E, ſunt ut DE^2. *Q. E. D.*

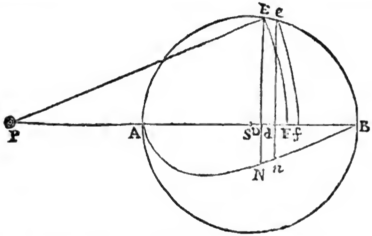
Idem aliter. Sit radius datus $PE = a$; variabilis $FD = x$, erit fluxio $Dd = dx$, & $PD = a - x$, atquè adeò $PD \times Dd = a\,dx - x\,dx$, & ſumptis utrinque fluentibus (165) S. $PD \times Dd = ax - \frac{1}{2} xx = \frac{2ax - xx}{2} = \frac{DE^2}{2}$, (*prop. 13. lib. 6. Elem.*). Quarè vis ſuperficiei convolutione arcûs F E genitæ erit ut DE^2.

cet in corpuſculum *P*. (c) At ſi vis illa non detur, fiet vis ſolidi *E F f e* ut ſolidum $DEq \times Ff$ & vis illa non data conjunctim. *Q. E. D.*

PROP. LXXX. THEOR. XL.

PROPOSITIO LXXX. THEOREMA XL.

Si ad ſphæræ alicujus A B E, *centro* S *deſcriptæ, particulas ſingulas æquales tendant æquales vires centripetæ, & ad ſphæræ axem* A B, *in quo corpuſculum aliquod* P *locatur, erigantur de punctis ſingulis* D *perpendicula* D E, *ſphæræ occurrentia in* E, *& in ipſis capiantur longitudines* D N, *quæ ſint ut quantitas* $\frac{DEq \times PS}{PE}$ *& vis, quam ſphæræ particula ſita in axe ad diſtantiam* P E *exercet in corpuſculum* P, *conjunctim: dico quod vis tota, quâ corpuſculum* P *trahitur verſus ſphæram, eſt ut area* A N B *comprehenſa ſub axe ſphæræ* A B, *& lineâ curvâ* A N B, *quam punctum* N *perpetuo tangit.*



Etenim ſtantibus quæ in lemmate & theoremate noviſſimo con-

(c) * *At ſi vis illa non detur &c.* Zona convolutione arcûs E genita ducatur in datam altitudinem F f, & erit annuli ſolidi indè geniti vis ſecundum lineam P E undiquè exercita ut hic ipſe annulus & vis lineolæ F f conjunctim, hoc eſt, ſi vis lineolæ F f dicatur *V*, ut $PE \times Dd \times Ff \times V$ (518). At vis annuli ſecundùm lineam P S minor erit in ratione P D ad PE, ideóque erit ut $PD \times Dd \times Ff \times V$. Et quoniam variante P D, manet factum $Ff \times V$ quod nimirum vis *V* in ſingulis particulis datis F f, æqualis ſupponatur; Si ſumantur fluentes, ut ſuprà, erit vis tota ſolidi E F f e, in corpuſculum P ſecundùm lineam P S exercita ut $DE^2 \times Ff \times V$.

Digitized by Google

conſtructa ſunt, concipe axem ſphæræ AB dividi in particulas innumeras æquales $D\,d$ & ſphæram totam dividi in totidem laminas ſphæricas concavo-convexas $EFfe$, & erigatur perpendiculum $d\,n$. Per theorema ſuperius vis, quâ lamina $EFfe$ trahit corpuſculum P, eſt ut $DEq \times Ff$ & vis particulæ unius ad diſtantiam PE vel PF exercita conjunctim. Eſt autem (per lemma noviſſimum) $D\,d$ ad Ff ut PE ad PS, & inde Ff æqualis $\frac{PS \times D\,d}{PE}$; & $DEq \times Ff$ æquale $D\,d$ in $\frac{DEq \times PS}{PE}$, & propterea vis laminæ $EFfe$ eſt ut $D\,d$ in $\frac{DEq \times PS}{PE}$ & vis particulæ ad diſtantiam PF exercita conjunctim, hoc eſt (ex hypotheſi) ut $DN \times D\,d$, ſeu area evaneſcens $DNnd$. Sunt igitur laminarum omnium vires, in corpus P exercitæ, ut areæ omnes $DNnd$, hoc eſt, ſphæræ vis tota ut area tota ANB. *Q. E. D.*

Corol. 1. Hinc ſi vis centripeta, ad particulas ſingulas tendens, eadem ſemper maneat in omnibus diſtantiis, & fiat DN ut $\frac{DEq \times PS}{PE}$; erit vis tota, quâ corpuſculum à ſphæra attrahitur, (d) ut area ANB.

Corol. 2. Si particularum vis centripeta ſit reciprocè ut diſtantia corpuſculi à ſe attracti, & fiat (e) DN ut $\frac{DEq \times PS}{PEq}$; erit vis, quâ corpuſculum P à ſphærâ totâ attrahitur, ut area ANB.

Corol. 3. Si particularum vis centripeta ſit reciprocè ut cubus diſtantiæ corpuſculi à ſe attracti, & fiat DN ut $\frac{DEq \times PS}{PEqq}$; erit vis, quâ corpuſculum à totâ ſphærâ attrahitur, ut area ANB.

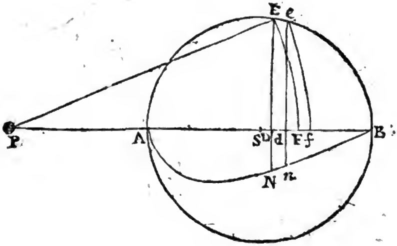
Co-

(d) * *Ut area ANB.* Nulla enim habenda eſt ratio vis particulæ F f quæ eadem in omnibus diſtantiis manet ex hyp.

(e) * *Fiat DN &c.* Subſtituta quantitate $\frac{1}{PE}$ loco vis particulæ F f.

Digitized by Google

Corol. 4. Et univerſaliter ſi vis centripeta ad ſingulas ſphæræ particulas tendens ponatur eſſe reciprocè ut quantitas V, fiat



autem DN ut $\frac{DEq \times PS}{PE \times V}$; erit vis; quâ corpuſculum à ſphærâ totâ attrahitur, ut area ANB.

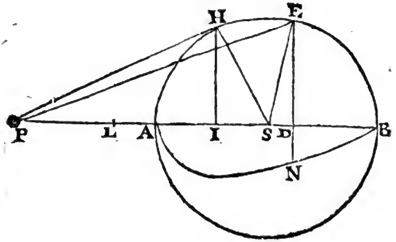
Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXXXI. Theor. XLI.

PROPOSITIO LXXXI. THEOREMA XLI.

Stantibus jam poſitis, menſuranda eſt area A N B.

A puncto P ducatur recta PH ſphæram tangens in H, & ad axem PAB demiſſa normali HI, biſecetur PI in L: & erit (*per prop.* XII. *lib.* 2. *elem.*) PEq æquale $PSq + SEq + 2PSD$. Eſt autem SEq ſeu SHq (ob (f) ſimilitudinem



triangulorum SPH, SHI) æquale rectangulo PSI. Ergo PEq æquale eſt contento ſub PS & $PS + SI + 2SD$, hoc (g) eſt, ſub PS & $2LS + 2SD$, id eſt, ſub PS & $2LD$. Porrò DE *quad.* æquale eſt $SEq - SDq$, ſeu (†) $SEq - LSq - SEq$ ſeu $LSq - SAq$ (*per prop.* VI. *lib.* 2. *elem.*) æquatur rectangulo ALB. Scribatur itaque $2SLD - LDq - ALB$ pro DEq; & quantitas $\frac{DEq \times PS}{PE \times V}$, quæ ſecundum corollarium quar-

(f) * *Ob ſimilitudinem triangulorum &c.* (Per prop. 13. lib. 6. Elem.)

(g) ** *Hoc eſt ſub* PS & $2LS + 2SD$. Ob $PS + SI = PI + 2SI = 2LI + 2SI = 2LS$.

(†) * *Seu* $SE^2 - LS^2$ *&c.* Ob $SD = LD - LS$, adeóque $SD^2 = LD^2 - 2SLD + LS^2$.

quartum propoſitionis præcedentis eſt ut longitudo ordinatim applicatæ $D\,N$, reſolvet ſeſe in tres partes $\frac{2\,SLD \times PS}{PF \times V} - \frac{LDq \times PS}{PE \times V} - \frac{ALB \times PS}{PE \times V}$: ubi ſi pro V ſcribatur ratio inverſa vis centripetæ, & pro $P\,E$ medium proportionale inter $P\,S$ & $2\,L\,D$; tres illæ partes evadent ordinatim applicatæ linearum totidem curvarum, (h) quarum areæ per methodos vulgatas innoteſcunt. *Q. E. F.*

Exem-

(h) 519. *Quarum areæ per methodos vulgatas innoteſcunt.* Sint variabiles P E $= z$, L D $= x$, adeoque D d $= dx$, ſint conſtantes PA $= a$, PB $= b$, PS $= c$, & LS $= m$, LA $= p$, LB $= q$, & erit areæ A N D fluxio D N $\times\, dx$ ut $\frac{2\,mcx\,dx}{zV} - \frac{cxx\,dx}{zV} - \frac{pqc\,dx}{zV}$: quoniam verò PE^2 $(zz) =$ 2 PS$\times$LD $(2cx)$, eſt $x = \frac{zz}{2c}$ & $dx = \frac{z\,dz}{c}$, quibus valoribus loco x & dx in formula ſubſtitutis illa in hanc mutatur $\frac{mz^2\,dz}{cV} - \frac{z^4\,dz}{4c^2V} - \frac{pq\,dz}{V}$.

Sit vis attractiva ut diſtantiæ z dignitas $\frac{1}{z^n}$ erit $V = z^n$ (quo valore loco V in formulâ poſito, fiet D N $\times\, dx$ ut $\frac{mz^{2-n}\,dz}{c} - \frac{z^{4-n}\,dz}{4c^2} - pq\,z^{-n}\,dz$, unde ſumptis ſingulorum terminorum fluentibus (165). erit S. DN $\times\, dx$, ſeu area A N D, ut $\frac{mz^{3-n}}{3-n \times c} - \frac{z^{5-n}}{5-n \times 4c^2} - \frac{pqz^{1-n}}{1-n} + Q$. *conſtans.* Sed fluens illa evaneſcere debet dum fit PE $(z) =$ PA (a) eſt ergo $Q = \frac{a^{5-n}}{5-n \times 4c^2} + \frac{pqa^{1-n}}{1-n} - \frac{ma^{3-n}}{3-n \times c}$ ac proinde fluens accurata ubi PE $(z) =$ PB (b) erit $\frac{mb^{3-n}}{3-n \times c} - \frac{b^{5-n}}{5-n \times 4c^2} - \frac{pqb^{1-n}}{1-n} + \frac{a^{5-n}}{5-n \times 4c^2} + \frac{pqa^{1-n}}{1-n} - \frac{ma^{3-n}}{3-n \times c}$:

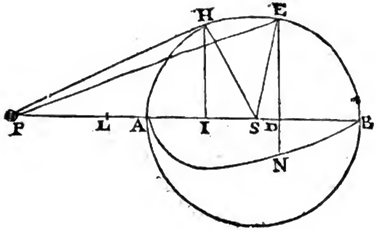
520. Cùm ſit ſemper PE$^2 = 2$ PS$\times$LD; & ubi PE fit PB ſit LD $=$ LB, ubi verò PE fit PA ſit LD $=$ LA, erit PB^2 $(b^2) = 2$ PS$\times$LB $(2cq)$ & PA^2 $(a^2) = 2$ PS$\times$LA $(2cp)$ quibus valoribus loco, b^2 & a^2 ſubſtitutis, formula fit $\frac{2mqb^{1-n}}{3-n} - \frac{q^2b^{1-n}}{5-n} - \frac{pqb^{1-n}}{1-n} + \frac{p^2a^{1-n}}{5-n} + \frac{pqa^{1-n}}{1-n} - \frac{2mpa^{1-n}}{3-n}$, & reſtitutis litteris figuræ $\frac{2\,SLB \times PB^{1-n}}{3-n} - \frac{LB^2 \times PB^{1-n}}{5-n} - \frac{ALB \times PB^{1-n}}{1-n} + \frac{AL^2 \times PA^{1-n}}{5-n} + \frac{ALB \times PA^{1-n}}{1-n} - \frac{2\,SLA \times PA^{1-n}}{3-n}$

521. *Cor.* 1. Hinc liquet aream A N B, ſeu attractionem cui proportionalis eſt, ſemper poſſe algebraice inveniri, tribus tantum caſibus exceptis in quibus eſt n — 1 vel 3, vel 5, ſeu in quibus vis attractiva decreſcit in ratione diſtantiæ ſimplici, vel triplicatâ vel quintuplicatâ. In his enim caſibus tribus diviſores $1-n$, $3-n$, $5-n$, evaneſcunt; ſed tum fluens per logarithmos, aut quod idem eſt, per quadraturam hyperbolæ obtinetur, ut exemplis infrà poſitis patebit.

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXXXI. Theor. XLI.

Exempl. 1. Si vis centripeta ad ſingulas ſphæræ particulas tendens ſit reciprocè ut diſtantia; pro V ſcribe diſtantiam PE; dein $2\,PS \times LD$ pro PEq, & fiet DN ut $SL - \frac{1}{2}LD - \frac{ALB}{2\,LD}$. Pone DN æqualem ejus duplo $2\,SL - LD - \frac{ALB}{LD}$; & ordinatæ pars data $2\,SL$ ducta in longitudinem AB deſcribet aream rectangulam $2\,SL \times AB$; & pars indefinita LD ducta normaliter in eandem longitudinem per motum continuum, eâ lege ut inter movendum creſcendo vel decreſcendo æquetur ſemper longitudini LD, (i) deſcribet aream $\frac{LBq - LAq}{2}$, (†) id eſt, aream $SL \times AB$; quæ ſubducta de areâ priore

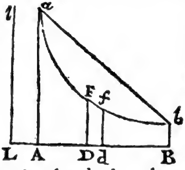


(i) 522. *Deſcribet aream* $\frac{LBq - LAq}{2}$. Area, quam deſcribet, erit trapezium, nam ſi à puncto L in longitudinem A B ſemper erigantur perpendicula æqualia L D, omnes terminabuntur in recta linea ducta à puncto L in terminum perpendiculi in B erecti & æquali L B, ſicque formabitur Triangulum cujus pars ſecundum A B ſita eſt area quæſita, & ea erit Trapezium cujus latera in A & B perpendicularia, inter ſe parallela ſunt, & latus puncto A inſiſtens erit æquale L A; latus verò oppoſitum in B erectum erit æquale L B, hujus ergo trapezii ſuperficies erit $\frac{LA + LB}{2} \times AB$, ſed $AB = LB - LA$, ergo *per* 6. 2. El. $\frac{LA + LB}{2} \times LB - LA = \frac{LB^2 - LA^2}{2}$: (quod trapezium eſt æquale Trapezio A a b B in figurâ Newtonianâ deſcripto, ut liquet per ejus figuræ conſt.).

(†) *Id eſt, aream* $SL \times AB$, cùm enim hæc area ſit

priore $2\,SL \times LAB$ relinquit aream $SL \times AB$. Pars autem tertia $\frac{ALB}{LD}$, ducta itidem per motum localem normaliter in eandem longitudinem, deſcribet aream hyperbolicam; quæ ſubducta de areâ $SL \times AB$ relinquet aream quæſitam ANB. Unde talis emergit problematis conſtructio. Ad puncta L, A, B erige perpendicula Ll, Aa, Bb, quorum Aa ipſi LB, & Bb ipſi LA æquetur. Aſymptotis Ll, LB per puncta ab deſcribatur hyperbola ab. Et acta chorda ba claudet aream aba areæ quæſitæ ANB æqualem.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXXXI. PROBL. XLI.



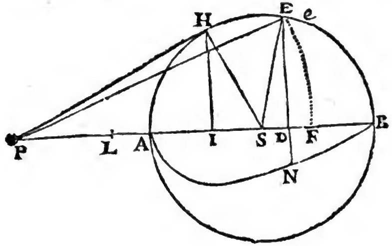
Exempl. 2. Si vis centripeta ad ſingulas ſphæræ particulas tendens ſit reciprocè ut cubus diſtantiæ, vel (quod perinde eſt) ut cubus ille applicatus ad planum quodvis datum; ſcribe $\frac{PE\ cub.}{2\,ASq}$ pro V, dein $2\,PS \times LD$ pro PEq; & fiet DN

ſit $= \frac{LA + LB}{2} \times AB$, ſitque $LB = LA + 2AS$ erit $LA + LB = 2\,LA + 2\,AS = 2\,LS$ unde $\frac{LA + LB}{2} \times AB = LS \times AB$. Unde etiam ſequitur Trapezium $AabB$ rectangulo $LS \times AB$ eſſe æquale.

Cæterum per methodos vulgares caſus iſte ſequenti ratione ſolvitur. Sit $AD = x$, $Dd = dx$ erit areæ AND fluxio $DN \times Dd = 2\,SL \times dx - LA \times dx - x\,dx - \frac{ALB \times dx}{LD}$. Primi termini $2\,SL \times dx$, fluens (165) eſt $2\,SL \times x = 2\,SL \times AB$, ubi AD, ſeu $x = AB$. Secundi termini $LA \times dx + x\,dx$, fluens eſt $LA \times x + \frac{1}{2}xx = \frac{2LA + AB \times AB}{2} = LS \times AB$, quandò x, ſeu AD, fit AB. Quarè duorum priorum terminorum fluens eſt $2\,SL \times AB - SL \times AB$ ſive $SL \times AB$. Jam ut tertii termini $\frac{ALB \times dx}{LD}$ fluens inveniatur deſcribatur hyperbola AB, prout NEWTONUS præſcribit, & ſuper aſymptoto LB erigantur perpendicula duo infinitè propinqua; DF, df, hyperbolæ occurrentia in F & f, ſitque $AD = x$, $Dd = dx$, & erit (*per theor.* 4. *de hyperbolâ*) $LA \times Aa = LD \times DF$, adeóque $DF = \frac{LA \times Aa}{LD} = \frac{ALB}{LD}$, & $DF \times Dd$, ſeu fluxio areæ $AaFD = \frac{ALB \times dx}{LD}$. Quarè area hyperbolica $AaFD$, æqualis eſt fluenti tertii termini, & area hyperbolica $AabB$, eſt ejuſdem termini fluens, ubi x, ſeu $AD = AB$. Hæc igitur ſubducta de rectangulo $SL \times AB$, ſive de trapezio $AabB$ ipſi æquali, relinquet aream quæſitam ANB. Relinquitur autem area $aFba$; undè patet conſtructio.

523. *Cor.* 1. Si diſtantia corpuſculi P à ſphærâ evaneſcat, erit $Bb = LA = 0$ ideoque hyperbola AFb cum ſuis aſymptotis Ll, LB congruet nullaque erit ejus area. Quarè corpuſculo poſito in A, ſeu in contactu ſphæræ attractio erit ut rectangulum $SL \times AB = 2\,AS^2$, ut etiam demonſtrari poſſet eodem modo ac demonſtrata fuit Prop. 71.

ut $\frac{SL \times ASq}{PS \times LD} - \frac{ASq}{2PS} - \frac{ALB \times ASq}{2PS \times LDq}$, id (k) eſt (ob continuè proportionales PS, AS, SI) ut $\frac{LSI}{LD} - \frac{1}{2} SI - \frac{ALB \times SI}{2LDq}$. Si ducantur hujus partes tres in longitudinem AB, prima $\frac{LSI}{LD}$ generabit aream hyperbolicam; ſecunda $\frac{1}{2} SI$ aream $\frac{1}{2} AB \times SI$; tertia $\frac{ALB \times SI}{2LDq}$ aream $\frac{ALB \times SI}{2LA} - \frac{ALB \times SI}{2LB}$, id eſt $\frac{1}{2} AB \times SI$. De primâ ſubdu-

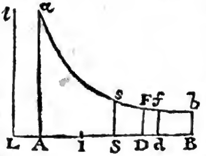


524. *Cor.* 2. Vis quâ corpuſculum P, verſùs portionem ſphæræ convolutione ſuperficiei A E F, genitam trahitur eſt ut $\overline{LB} - \frac{1}{2} x \times x$ — AaFD; Nam (per not. 522.) vis illa eſt ut $2SL \times x - LA \times x - \frac{1}{2} xx$ — AaFD, & $2SL = 2LA + 2AS$ & $2SL - LA = LA + 2AS = LB$, unde vis illa eſt $\overline{LB} - \frac{1}{2} x \times x$ — AaFD; ſed P poſito in contactu ſphæræ eſt $LB = AB$ & areâ hyperbolicâ evaneſcit, vis ergo fit in contactu $\overline{AB} - \frac{1}{2} x \times x$, ſive $\overline{AB} - \frac{1}{2} AD \times AD$.

525. *Cor.* 3. Quoniam attractio corpuſculi P verſùs ſphæram totam eſt ut $SL \times AB$ — AabB, ejuſdem attractio verſùs portionem ſphæræ convolutione ſuperficiei FEeB (*fig. prop.* 80.) genitam, erit ut $SL \times AB - LB \times x + \frac{1}{2} xx$ + AaFD — AabB = $SL \times AB - LB \times AD + \frac{1}{2} AD^2$ — DFbB, ſive ſubſtitutis $LA + \frac{1}{2} AB$ pro SL, $LA + AB$ loco LB, & pro $AB - AD$ poſito BD fiet ut $\overline{LA + \frac{1}{2} BD} \times BD$ — DFbB, & corpuſculo in contactu poſito, erit ut $\frac{1}{2} BD^2$.

(k) * *Id eſt, ob continuè proportionales &c. Per prop. 8. l. 6. El.* undè $AS^2 = PS \times SL$.

ducatur ſumma ſecundæ & tertiæ, & manebit area quæſita ANB. (1) Unde talis emergit problematis conſtructio. Ad puncta L, A, S, B erige perpendicula Ll, Aa, Ss, Bb, quorum Ss ipſi SI æquetur, perque punctum s aſymptotis Ll, LB deſcribatur hyperbola $a\,s\,b$ occurrens perpandiculis Aa, Bb in a & b; & rectangulum $2\,ASI$ ſubductum de area hyperbolica $AasbB$ relinquet aream quæſitam ANB.



Exem-

(1) 526. * *Unde talis emergit problematis conſtructio.* Sit, ut ſuprà $AD = x$, $Dd = dx$, erit areæ AND, fluxio $DN \times Dd$, ut $\frac{LSI \times dx}{LD} - \frac{1}{2} SI \times dx - \frac{ALB \times SI \times dx}{2\,\overline{LA + x}^2}$.
Jam ut primi termini $\frac{LSI \times dx}{LD}$, fluens habeatur, deſcribatur hyperbola aSb, eo modo quo jubet NEWTONUS, erectiſque perpendiculis DF, df, ſit $AD = x$, $Dd = dx$, & quoniam (*per theor.* 4. de hyberbolâ) $LS \times SI = LD \times DF$, erit $DF = \frac{LSI}{LD}$, & $DF \times Dd = \frac{LSI \times dx}{LD}$.
Patet igitur (ut in not. 522.) aream Hyperbolicam $AasbB$, æqualem eſſe fluenti primi termini, dum AD ſeu $x = AB$; ſecundi termini $\frac{1}{2} SI \times dx$, fluens eſt $\frac{1}{2} SI \times AD = \frac{1}{2} SI \times AB$, dum ſit $AD = AB$; tertii tandem termini fluens hoc modo invenitur. Quantitatis $\frac{dx}{(LA + x)^2}$ fluens (165) eſt $-\frac{1}{LA + x} + Q$ *conſtans*; & quoniam fluens illa evaneſcere debet ubi $x = 0$, erit $Q = \frac{1}{LA}$. Quarè fluens accurate eſt $\frac{1}{LA} - \frac{1}{LD} = \frac{1}{LA} - \frac{1}{LB}$; ubi $x = AB$. Eſt igitur tertii termini $\frac{1}{2} ALB \times SI \times \frac{dx}{\overline{LA + x}^2}$ fluens $= \frac{ALB \times SI}{2\,LA} - \frac{ALB \times SI}{2\,LB} = \frac{1}{2} LB \times SI - \frac{1}{2} LA \times SI = \frac{1}{2} AB \times SI$, unde ſumma 2^i & 3^i termini eſt $AB \times SI = 2\,AS \times SI$. Quarè rectangulum $2\,ASI$ ſubductum de areâ hyperbolicâ $AasbB$ relinquet aream quæſitam ANB.

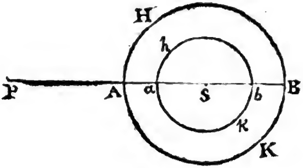
527. *Cor.* 1. Si corpus P ſphæram tangat in A, attractio evadet infinita, nam in hoc caſu $LA = 0$ & Aa cum aſymptoto Ll coincidit, ac proindè attractio per aream hyperbolæ infinitam $BLlasb$ exponitur.

528. *Coroll.* 2. Vis quâ corpuſculum P in ſphæræ portionem convolutione ſuperficiei AEF, genitam trahitur, eſt ut $AaFD - \frac{1}{2} SI \times AD - \frac{1}{2} LB \times SI + \frac{ALB \times SI}{2\,LD}$, ut ex notâ 526. manifeſtum eſt. Quarè in contactu ubi $LA = 0$, erit vis illa ut area infinita $AaFD$, cujus reſpectu aliæ finitæ quantitates evaneſcunt.

529. *Cor.* 3. Et quoniam corpuſculi P attractio in ſphæram totam eſt ut area hyperbolica $AasbB - 2\,ASI$, ejuſdem attractio versùs portionem concavo convexam, convolutione ſuperficiei $FEcB$, genitam, erit ut $AasbB - AaFD - 2\,ASI + \frac{1}{2} AD \times SI + \frac{1}{2} LB \times SI - \frac{ALB \times SI}{2\,LD} = DFbB + \overline{\frac{1}{2} LA - \frac{1}{2} BD} \times SI - \frac{ALB \times SI}{2\,LD}$, ponendo AB pro $2\,AS$, $\frac{1}{2} LA + \frac{1}{2} AB$ pro $\frac{1}{2} LB$, & $\frac{1}{2} BD$ pro $\frac{1}{2} AB = \frac{1}{2} AD$.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXXXI. Probl. XLI.

Exempl. 3. Si vis centripeta, ad ſingulas ſphæræ particulas tendens, decreſcit in quadruplicatâ ratione diſtantiæ à particulis; ſcribe $\frac{PEqq}{2AScub.}$ pro V, dein $\sqrt{2PS \times LD}$ (m) pro PE; & fiet DN ut $\frac{SIq \times SL}{\sqrt{2SI}} \times \frac{1}{\sqrt{LDc}} - \frac{SIq}{2\sqrt{2SI}} \times \frac{1}{\sqrt{LD}} - \frac{SIq \times ALB}{2\sqrt{2SI}} \times \frac{1}{\sqrt{LDqc}}$. (n) Cujus tres partes ductæ in lon-



530. *Cor.* 4. Simili modo inveniri poteſt vis quâ corpus P trahitur versùs ſphæram concavam A a H B K a, ſi ex attractione in ſphæram totam ſolidam detrahatur attractio in ſphæram interiorem a h b k. Patet autem corpuſculi P in A, ſeu in contactu poſiti attractionem versùs ſphæram cavam A a H B K a, interiori concentricam, infinitam eſſe; Nam ſi ex vi infinitâ quâ versùs ſphæram ſolidam A H B K S, trahitur, ſubducatur vis finita quâ versùs ſphæram interiorem a h b k s urgetur, relinquetur attractio infinita versùs ſphæram concavam A a H B K a; quin imò, ſi ex ſphærâ concavâ detrahatur pars quævis à contactu remota ut H h B K k, attractio corpuſculi in contactu A poſiti versùs reſiduam H h A a K k, adhuc infinita erit, ut patet (*per cor.* 2. *&* 3).

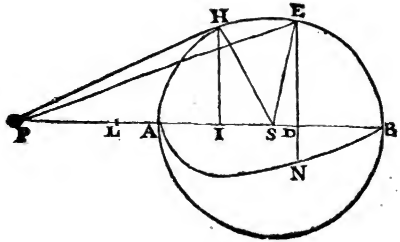
(m) * *Pro P E.* Erit $PE^5 = 4PS^2 \times LD^2 \times \sqrt{2PS \times LD}$, & $AS^3 = PS \times SI \times \sqrt{PS \times SI}$. Undè fiet $\frac{SLD \times PS}{PE \times V} = \frac{4SLD \times PS \times AS^3}{PE^5} = \frac{4SL \times LD \times PS^2 \times SI\sqrt{PS \times SI}}{4PS^2 \times LD^2 \times \sqrt{2PS \times LD}} = \frac{SL \times SI\sqrt{SI}}{LD\sqrt{2LD}} = \frac{SL \times SI^2}{LD\sqrt{2SI \times LD}} = \frac{SI^2 \times SL}{2\sqrt{2SI}} \times \frac{1}{\sqrt{LD^3}}$. Et ità de cæteris terminis.

(n) * *Cujus tres partes &c.* Sit $AD = x$ fluxio $AD = dx$, & erit areæ AND fluxio $DN \times dx$, ut $\frac{SI^2 \times SL}{\sqrt{2SI}} \times \frac{dx}{\overline{LA+x}^{\frac{3}{2}}} - \frac{SI^2}{2\sqrt{2SI}} \times \frac{dx}{\overline{LA+x}^{\frac{1}{2}}} - \frac{SI^2 \times ALB}{2\sqrt{2SI}} \times \frac{dx}{\overline{LA+x}^{\frac{5}{2}}}$, quantitatis $\frac{dx}{\overline{LA+x}^{\frac{3}{2}}}$ ſeu $\overline{LA+x}^{-\frac{3}{2}} dx$ fluens eſt

LA

Digitized by Google

longitudinem AB, producunt areas totidem, *viz.* $\frac{2\,SIq \times SL}{\sqrt{2\,SI}}$

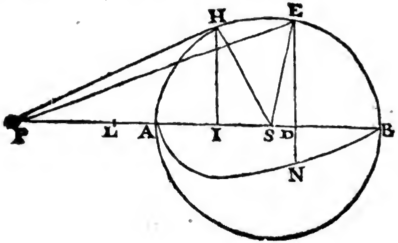


in $\frac{1}{\sqrt{LA}} - \frac{1}{\sqrt{LB}}$; $\frac{SIq}{\sqrt{2\,SI}}$ in $\sqrt{LB} - \sqrt{LA}$; & $\frac{SIq \times ALB}{2\sqrt{2\,SI}}$

in

$\frac{-2}{\overline{LA+x}}\,{}^{\frac{1}{2}} + Q$ *conſt.* (165) quæ evaneſcere debet ubi $x = 0$; Quarè erit $Q = \frac{2}{\sqrt{LA}}$, & fluens accurata $\frac{2}{\sqrt{LA}} - \frac{2}{\sqrt{LB}}$, dum fit $x = AB$. Primi igitur termini fluens erit $\frac{2\,SI \times SL}{\sqrt{2\,SI}}$, in $\frac{1}{\sqrt{LA}} - \frac{1}{\sqrt{LB}}$. Quantitatis $\frac{dx}{\overline{LA+x}\,{}^{\frac{1}{2}}}$, fluens eſt $2\,(LA+x)^{\frac{1}{2}} + Q$ *conſt.* & factâ $x = 0$; invenitur $Q = -2\sqrt{LA}$; quarè fluens accurata eſt $2\sqrt{LB} - 2\sqrt{LA}$, dum $x = AB$. Secundi igitur termini fluens erit $\frac{SI^2}{\sqrt{2\,SI}}$; in $\sqrt{LB} - \sqrt{LA}$. Quantitatis $\frac{dx}{\overline{LA+x}\,{}^{\frac{5}{2}}}$, fluens eſt $\frac{-2}{3\,(LA+x)^{\frac{3}{2}}} + Q$, & $Q = \frac{2}{3\sqrt{LA^3}}$, undè fluens integra erit $\frac{2}{3\sqrt{LA^3}} - \frac{2}{3\sqrt{LB^3}}$, ubi $x = AB$, & proinde tertii termini fluens eſt $\frac{SI^2 \times ALB}{3\sqrt{2\,SI}}$ in $\frac{1}{\sqrt{LA^3}} - \frac{1}{\sqrt{LB^3}}$.

in $\frac{1}{\sqrt{LA\ cub.}} - \frac{1}{\sqrt{LB\ cub.}}$. Et (o) hæ poſt debitam re-



ductionem fiunt $\frac{2\,SIq \times SL}{LI}$, SIq; & $SIq + \frac{2\,SI\ cub.}{3\,LI}$. Hæ vero; ſubductis poſterioribus de priore, evadunt $\frac{4\,SI\ cub.}{3\,LI}$ Proin-

(o) * *Et hæ poſt debitam reductionem &c.* Eſt $PS \times SI = AS^2$ (*per prop.* 8. Lib. 6. *Elem.*) ſed $PS = LS + LI$, ob $PL = LI$, (*per conſtr.*) & $SI = LS - LI$, ergò $PS \times SI = LS^2 - LI^2 = AS^2$, & hinc $LI^2 = LS^2 - AS^2 = \overline{LS + AS} \times \overline{LS - AS} = LB \times LA$. Quarè LI ſive $LS - LI = \sqrt{LA \times LB}$, & $2\,LS - 2\,SI = 2\sqrt{LA \times LB}$, & $2\,SI = 2\,LS - 2\sqrt{LA \times LB} = LB - 2\sqrt{LB \times LA} + LA$, & extractâ utrinque radice quadratâ $\sqrt{2\,SI} = \sqrt{LB} - \sqrt{LA}$. His poſitis, facilis eſt terminorum reductio; erit enim $\frac{1}{\sqrt{LA}} - \frac{1}{\sqrt{LB}} = \frac{\sqrt{LB} - \sqrt{LA}}{\sqrt{LB \times LA}} = \frac{\sqrt{2\,SI}}{LI}$. Quarè patet primum fluentis terminum eſſe $\frac{2\,SI^2 \times SL}{LI}$; ſecundum verò eſſe SI^2. Tertius terminus, reductione ad communem denominatorem factâ, eſt $\frac{SI^2 \times LA \times LB}{3\sqrt{2\,SI}} \times \frac{\sqrt{LB^3} - \sqrt{A^3}}{LA \times LB\sqrt{LA \times LB}} = \frac{SI^2 \times \sqrt{LB^3} - \sqrt{LA^3}}{3\,LI \times \sqrt{IB} - \sqrt{LA}}$. Peractâ diviſione invenitur $\frac{LB^{\frac{3}{2}} - LA^{\frac{3}{2}}}{LB^{\frac{1}{2}} - LA^{\frac{1}{2}}} = LB +$

LB

Proinde vis tota, quâ corpuſculum *P* in ſphæræ centrum trahitur, eſt ut $\frac{SI\ cub.}{PI}$, (p) id eſt, reciprocè ut *P S cub.* × *P I.* *Q. E. I.*

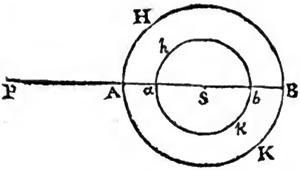
Eàdem methodo determinari poteſt attractio corpuſculi ſiti intra ſphæram, ſed expeditius per theorema ſequens.

PRO-

$LB^{\frac{1}{2}} + LA^{\frac{1}{2}} + LA = LB + LI + LA = 2SI + 3LI$, ob $LB + LA = 2LS = 2SI + 2LI$. Quarè tertius terminus eſt $\frac{SI^2 \times \overline{2SI + 3LI}}{3LI} = SI^2 + \frac{2SI^3}{3LI}$, unde tres fluentes ad communem denominatorem reducti fiunt $\frac{6SI^2 \times SL - SI^2 \times 3LI - SI^2 \times 3LI - 2SI^3}{3LI} = \frac{6SI^2 \times \overline{SL - LI} - 2SI^3}{3LI}$, ſed quia $SL - LI = SI$ fiunt $\frac{6SI^3 - 2SI^3}{3LI} = \frac{4}{3}\frac{SI^3}{LI}$.

(p) * *Id eſt reciprocè ut* $PS^3 \times PI$. Nam cùm ſit $PS \times SI = AS^2$, ideóque $SI = \frac{AS^2}{PS}$, hinc, dato radio AS, eſt SI ut $\frac{1}{PS}$, SI^3, ut $\frac{1}{PS^3}$; Eſt verò $= \frac{1}{2}PI$ ideóque etiam & L I ut P I, unde erit $\frac{4SI^3}{3LI}$ ut $\frac{1}{PS^3 \times PI}$, neglectâ fractione $\frac{4}{3}$.

531. *Cor.* 1. In acceſſu corporis P ad ſphæram, ità creſcit illius attractio, ut in contactu infinita evadat, dum eeim coincidit P cum A, puncta H & I cum eodem puncto A coincidunt, ſitque $PI = 0$, & proindè quantitas $\frac{1}{PS^3 \times PI}$, infinita.



532. *Cor.* 2. Attractio corpuſculi in contactu A poſiti versùs ſphæram cavam A a H B K a, infinita eſt. Hæc enim attractio habetur, ſi ex attractione infinitâ versùs ſphæram ſolidam A H B K S, ſubducatur attractio finita versùs ſphæram interiorem a h b k S.

533. Hic adjungemus ſolutionem casûs tertii qui pendet à quadraturâ hyperbolæ, ubi nempè vis eſt ut PE^5 reciprocè (520). Scribe igitur $\frac{PE^5}{2AS^4}$, pro V; dein $8PS^3 \times LD^3$ pro PE^6, & $PS \times SI$ pro AS^2, unde eſt $\frac{PS}{PE \times V} = \frac{SI^2}{4LD^3}$ & fiet D N, ut $\frac{SL \times SI^2}{2LD^2} - \frac{SI^2}{4LD} - \frac{ALB \times SI^2}{4LD^3}$ ſeu, ut $\frac{SL \times SI^2}{LD^2} - \frac{1}{2}\frac{SI^2}{LD} - \frac{1}{2}\frac{ALB \times SI^2}{LD^3}$; undè fluxio $DN \times Dd$, erit ut $\frac{SL \times SI^2 \times dx}{\overline{LA + x}^2}$

PROPOSITIO LXXXII. THEOREMA XLI.

In ſphærâ centro S *intervallo* S A *deſcriptâ, ſi capiantur* S I, S A, S P *continuè proportionales: dico quod corpuſculi intra ſphæram, in loco quovis* I, *attractio eſt ad attractionem ipſius extra ſphæram, in loco* P, *in ratione compoſitâ ex ſubduplicatâ ratione diſtantiarum à centro* I S, P S, *& ſubduplicatâ ratione virium centripetarum, in locis illis* P *&* I, *ad centrum tendentium.*

Ut, ſi vires centripetæ particularum ſphæræ ſint reciprocè ute diſtantiæ corpuſculi à ſe attracti; vis, quâ corpuſculum ſitum in *I* trahitur à ſphærâ totâ, erit ad vim, quâ trahitur in *P*, in ratione compoſitâ ex ſubduplicatâ ratione diſtantiæ *S I* ad diſtantiam *SP*, & ratione ſubduplicatâ vis centripetæ in loco *I*, à particulâ aliquâ in centro oriundæ, ad vim centripetam in loco *P* ab eâdem in centro particulâ oriundam, id eſt, ratione ſubduplicatâ diſtantiarum *S I*, *S P* ad invicem reci-

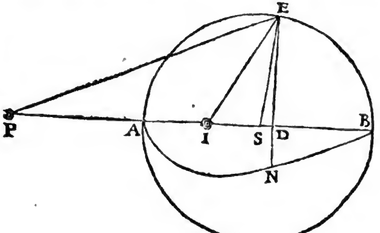
$-\frac{1}{2}\frac{SI^2 \times dx}{LA+x} - \frac{1}{2}\frac{ALB \times SI \times dx}{\overline{LA+x}|}$, poſitâ A D $= x$.

Quantitatis $\frac{dx}{\overline{LA+x}^2}$, fluentem ſuprà (526) invenimus eſſe $\frac{1}{LA} - \frac{1}{LB} = \frac{LB - LA}{LA \times LB} = \frac{A\ B}{L\ I^2}$ ubi x ſeu A D $=$ A B. Quarè primi termini fluens erit $\frac{SL \times SI^2 \times AB}{LI^2}$.

Quantitatis $\frac{dx}{\overline{LA+x}|}$ fluens $= \frac{-1}{2\,\overline{LA+x}^2} + Q$ *conſt.* quæ evaneſcere debet poſitâ x, ſeu A D $= 0$, quarè erit $Q = \frac{1}{2\,LA^2}$ & fluens accurata, ubi A D $=$ A B, erit $\frac{1}{2\,LA^2} - \frac{1}{2\,LB^2} = \frac{LB^2 - LA^2}{2\,LA^2 \times LB^2} = \frac{2\,SL \times AB}{2\,LI^4} = \frac{SL \times AB}{LI^4}$; undè tertii termini fluens erit $\frac{1}{2}\frac{ALB \times SI^2 \times SL \times AB}{LI^4} = \frac{1}{2}\frac{SL \times SI^2 \times AB}{LI^2}$, & differentia fluentium primi & tertii termini erit $\frac{1}{2}\frac{SL \times SI^2 \times AB}{LI^2}$. Secundi termini $\frac{1}{2} SI^2 \times \frac{dx}{LA+x}$, fluens eſt area hyperbolæ quæ ità deſcribitur. Ad puncta L, A, B, (*vid. fig. exempli* 2[i].) erige perpendicula L l, A a, B b, & aſymptotis L l, LB, deſcribe Hyperbolam æquilateram cujus ſit dignitas $\frac{1}{2}$ S I ^{2}, & quoniam eſt (*theor.* 4. *Hyp.*) L D $\times$ D F $= \frac{1}{2} SI^2$ ideóque D F $= \frac{1}{2}\frac{SI^2}{LD}$, erit D F $\times$ D d $= \frac{1}{2}\frac{SI^2 \times dx}{LA+x}$ poſitâ A D $= x$. Quapropter area hyperbolica A a b B, æqualis eſt fluenti ſecundi termini ubi A D $=$ A B. Hæc igitur area ſubducta de rectangulo $\frac{1}{2}\frac{SL \times SI^2 \times AB}{LI^2}$ relinquet aream quæſitam A N B.

Digitized by Google

reciprocè. Hæ duæ rationes ſubduplicatæ componunt rationem æqualitatis, & propterea attractiones in *I* & *P* à ſphærâ totâ factæ æquantur. Similiter computo, ſi vires particularum ſphæræ ſunt reciprocè in duplicatâ ratione diſtantiarum, colligetur quod attractio in *I* ſit ad attractionem in *P*, ut diſtantia *S P* ad ſphæræ ſemidiametrum *S A*: ſi vires illæ ſunt reciprocè



in triplicatâ ratione diſtantiarum; attractiones in *I* & *P* erunt ad invicem ut *S P quad.* ad *S A quad.*: Si in quadruplicatâ, ut *S P cub.* ad *S A cub.* Unde cùm attractio in *P*, in hoc ultimo caſu, inventa fuit reciprocè ut *P S cub.* × *P I*, attractio in *I* erit reciprocè ut *S A cub* × *P I*, id eſt (ob datum *S A cub.*) reciprocè ut *P I*. Et (q) ſimilis eſt progreſſus in infinitum. Theorema verò ſic demonſtratur.

Stan-

(q) * *Similis eſt progreſſus in infinitum.* Vires centripetæ acceleratrices à particulâ aliquâ in centro poſitâ oriundæ, ſint inter ſe in diſtantiis I S, P S reciprocè ut harum diſtantiarum poteſtates IS^n, PS^n, & vis quâ corpuſculum ſitum in I trahitur à ſphærâ totâ, erit ad vim quâ trahitur in loco P ut $IS^{\frac{1}{2}}$ ad $PS^{\frac{1}{2}}$ & $PS^{\frac{n}{2}}$ ad $IS^{\frac{n}{2}}$ conjunctim, hoc eſt, ut $PS^{\frac{n-1}{2}}$ ad $IS^{\frac{n-2}{2}}$. Quarè cùm ſit, (*ex Hyp.*) PS : AS = AS : SI, adeóque $IS = \frac{AS^2}{PS}$, & $IS^{\frac{n-1}{2}} = \frac{AS^{n-1}}{PS^{\frac{n-1}{2}}}$, vires illæ erunt ad invicem ut $PS^{\frac{n-1}{2}}$ ad $\frac{AS^{n-1}}{PS^{\frac{n-1}{2}}}$, ſeu ut PS^{n-1} ad AS^{n-1}. Hinc ſi $n = 1$; vires erunt in ratione æqualitatis, ſi $n = 2$, erunt ut P S ad A S; Si $n = 3$ ut PS^2 ad AS^2, ſi $n = 4$ ut PS^3 ad AS^3, & ità porrò in infinitum.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. LXXXII. Theor. XLI.

Stantibus jam ante conſtructis, & exiſtente corpuſculo in loco quovis P, ordinatim applicata DN (r) inventa fuit ut $\frac{DEq \times PS}{PE \times V}$. Ergo ſi agatur IE, ordinata illa pro alio quovis corpuſculi loco I, (ſ) mutatis mutandis, evadet ut $\frac{DEq \times IS}{IE \times V}$. Pone vires centripetas, è ſphæræ puncto quovis E manantes, eſſe ad invicem in diſtantiis IE, PE, ut PE^n ad IE^n (ubi numerus n deſignet indicem poteſtatum PE & IE) & (t) ordinatæ illæ fient ut $\frac{DEq \times PS}{PE \times PE^n}$ & $\frac{DEq \times IS}{IE \times IE^n}$, quarum ratio ad invicem eſt ut $PS \times IE \times IE^n$ ad $IS \times PE \times PE^n$. Quoniam ob continuè proportionales SI, SE, SP, (u) ſimilia ſunt triangula SPE, SEI, & inde fit IE ad PE ut IS ad SE vel SA; pro ratione IE ad PE ſcribe rationem IS ad SA; & ordinatarum ratio evadet $PS \times IE^n$ ad $SA \times PE^n$. (x) Sed PS ad SA ſubduplicata eſt ratio diſtantiarum PS, SI; &

(r) * *Ordinatim applicata D N inventa fuit &c.* (cor. 4. prop. 80.)

(ſ) * *Mutatis mutandis.* Nempè corpore in I ſito, radio I E, deſcribendus arcus circuli, & in formulâ attractionis $\frac{DE^2 \times PS}{PE \times V}$, loco PS & P E, ſcribe IS, & I E.

(t) * *Et ordinatæ illæ &c.* Si loco V ſcribantur PE^n, & IE^n, quæ ſunt reciprocè ut vires acceleratrices in locis P & I, (*per cor. 4. prop. 80.*)

(u) * *Similia ſunt triangula S P E, S E I*, per prop. 6. Lib. 6. Elem.

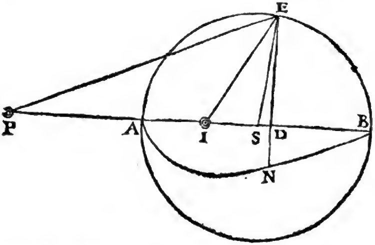
(x) * *Sed P S ad S A ſubduplicata eſt ratio diſtantiarum P S, S I*, ob continuè proportionales P S, S A, S I. Porrò vires in diſtantiis P S, I S, ſunt ad invicem ut IS^n, ad PS^n (*ex Hyp.*) & $IS : PS = IS^2 : AS^2 = IE^2 : PE^2$, (ob proportionales $IE : PE = IS : AS$), atque adeò $IS^n : PS^n = IE^{2n} : PE^{2n}$, & $IS^{\frac{n}{2}} : PS^{\frac{n}{2}} = IE^n : PE^n$. Quarè IE^n eſt ad PE^n in ratione ſubduplicatâ virium in diſtantiis P S, I S, & ordinatarum ratio $PS \times IE^n$, ad $SA \times PE^n$ æqualis eſt rationi $PS^{\frac{1}{2}} \times IS^{\frac{n}{2}}$, ad $IS^{\frac{1}{2}} \times PS^{\frac{n}{2}}$.

534. *Scholium.* Iiſdem poſitis quæ in prop. 82. ſi centro I radio I A ſphæra A C M D deſcripta ſit, vis quâ corpuſculum in I ſitum à totâ ſphærâ majore A H B K versùs centrum S trahitur, æqualis eſt vi quâ ſubductâ ſphæra minore A C M D traheretur. Nam corpuſculum in centro I ſphæræ ACMD poſitum, æqualiter undiquè ab hujus ſphæræ minoris partibus trahitur.

535. *Cor.* 1. Si centro S radio S I deſcripta ſit ſphæra I h b k, & vis centripeta in receſſu corporis attracti decreſcat in triplicatâ ratione diſtantiarum à particulis materiæ trahentibus, corpuſculum in I ſitum ſeu in contactu ſphæræ cavæ A I H B K I, ſubductâ ſphærâ interiore I h b k, vi infinitâ retrahitur à centro S versùs A. Nam vis quâ corpuſculum

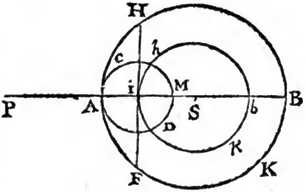
Digitized by Google

& IE^n ad PE^n (ob proportionales *IE* ad *PE* ut *IS* ad *SA*) ſubduplicata eſt ratio virium in diſtantiis *PS*, *IS*. Ergo ordina- DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXXXII. THEOR. XLI.



tæ, & propterea areæ quas ordinatæ deſcribunt, hiſque proportionales attractiones, ſunt in ratione compoſitâ ex ſubduplicatis illis rationibus. *Q. E. D.*

PRO-



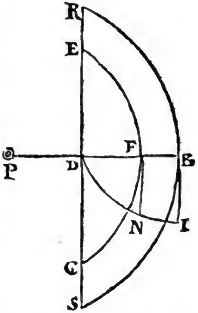
lum in contactu I à ſphærâ interiore I h b k verſùs centrum S trahitur, infinita eſt (520. 527.) reſpectu vis illius quâ extrà contactum traheretur. Sed vis quâ à ſphærâ totâ ſolidâ A H B K S, verſus idem centrum S trahitur finita eſt, ut potè quæ rationem finitam habeat ad vim finitam, quâ corpuſculum in loco P urgeretur (*prop.* 81.) ergò vis quâ à ſphærâ cavâ AIHBKI, retrahitur à centro verſùs A infinita eſt; vis enim quâ in centrum S, à ſphærâ ſolidâ A H B K S in centrum trahitur, æqualis eſt vi ſphæræ interioris I h b k s, demptâ vi contrariâ ſphæræ cavæ A I H B K I.

536. *Cor.* 2. Ductâ per I rectâ H F ad A B perpendiculari & ſphæræ occurrente in H & F vis quâ ſphæræ ſegmentum A H F corpuſculum in contactu, I ſitum verſus A trahit, eſt etiam infinita in eâdem virium hypotheſi. Nam partes omnes ſegmenti cavi I H b B K F I, corpus in I poſitum ad centrum S trahunt; ideóque à ſolo ſegmento A H F à centro verſus A retrahitur, ſed vi infinitâ à centro retrahitur 535. Ergo &c.

PROPOSITIO LXXXIII. PROBLEMA XLII.

Invenire vim quâ corpuſculum in centro ſphæræ locatum ad ejus ſegmentum quodcunque attrahitur.

Si P corpus in centro ſphæræ, & $RBSD$ ſegmentum ejus plano RDS & ſuperficie ſphæricâ RBS contentum. Superficie ſphæricâ EFG centro P deſcriptâ ſecetur DB in F, ac diſtinguatur ſegmentum in partes $BREFGS$, $FEDG$. Sit autem ſuperficies illa non purè mathematica, ſed phyſica, profunditatem habens quàm minimam. Nominetur iſta profunditas O, & erit hæc ſuperficies (per (y) demonſtrata *Archimedis*) ut $PF \times DF \times O$. Ponamus præterea vires attractivas particularum ſphæræ eſſe reciprocè ut diſtantiarum dignitas illa, cujus index eſt n; & vis, quâ ſuperficies EFG trahit corpus P, erit (*per prop.* LXXIX.) ut $\frac{DEq \times O}{PF^n}$, id (z) eſt, ut $\frac{2DF \times O}{PF^{n-1}} - \frac{DFq \times O}{PF^n}$.



Huic proportionale ſit perpendiculum FN ductum in O; & (a) area curvilinea BDI, quam ordinatim applicata FN in

(y) * *Per demonſtrata Archimedis.* Nam (515.) elementum ſuperficiei EFG, eſt ut PF ducta in elementum lineæ DF, adeóque ob datam PF, reſpectu ſuperficiei totius EFG, ſuperficies illa (165.) erit ut $PF \times DF$, & proinde lamina ex hâc ſuperficie & profunditate O, genita erit ut $PF \times DF \times O$.

(z) * *Id eſt* &c. Nam (*per prop.* 13. *Lib.* 6. *Elem.*) $DE^2 = \overline{2PF - DF} \times DF = 2PF \times DF - DF^2$. Quarè $\frac{DE^2 \times O}{PF^n} = \frac{2DF \times O}{PF^{n-1}} - \frac{DF^2 \times O}{PF^n}$.

(a) 537. * *Et area curvilinea &c.* Si ſegmentum RBSDR, in laminas innumeras profunditatis evaneſcentis O diviſum intelligatur, & capiatur ſemper perpendiculum FN, vi ſingularum laminarum proportionale; manifeſtum eſt (*per Lem.* 4.) ſummam elementorum $FN \times O$, ſeu aream curvilineam DNIB, proportionalem fore ſummæ virium. Sit igitur $PD = a$, PF $= x$;

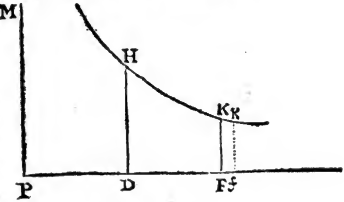
Digitized by Google

in longitudinem *D B* per motum continuum ducta deſcribit, erit ut vis tota quâ ſegmentum totum *R B S D* trahit corpus *P*. *Q. E. I.*

$= x$; $DF = x - a$, & erit laminæ ſphæricæ EFG vis attractiva ut $\frac{2xdx - 2adx}{x^{n-1}} = \frac{xxdx - 2axdx + aadx}{x^n} = \frac{dx}{x^{n-2}} - \frac{aadx}{x^n} = x^{2-n}dx - aax^{-n}dx$, cujus fluens $= \frac{x^{3-n}}{3-n} - \frac{aax^{1-n}}{1-n} + Q$ *conſt.* Sed poſita $x = a$, ſegmentum & vis illius evaneſcunt, ergò erit $Q = -\frac{a^{3-n}}{3-n} + \frac{a^{3-n}}{1-n} = \frac{2a^{3-n}}{3-n \times 1-n}$, & fluens accurata $= \frac{x^{3-n}}{3-n} - \frac{aax^{1-n}}{1-n} + \frac{2a^{3-n}}{3-n \times 1-n}$.

538. *Cor.* Hinc patet vim quâ corpus in P locatum, à ſegmento trahitur ſemper poſſe algebraicè exponi, duobus caſibus exceptis in quibus n eſt 1 vel 3. tùm autem per logarithmos vel areas hyperbolicas habetur. In 1°. caſu areæ DNI, fluxio erit $xdx - \frac{aadx}{x}$. Primi termini fluens eſt $\frac{1}{2}xx + Q$, quæ evaneſcere debet poſitâ $x = a$, quare erit $Q = -\frac{1}{2}aa$, & fluens accurata $= \frac{1}{2}xx - \frac{1}{2}aa$. Ut ſecundi termini fluens obtineatur, per punctum P agatur PM ad PF normalis, & aſymptotis PM, PF, deſcribatur Hyperbola æquilatera cujus ſit dignitas PD^2; per puncta D, F, f erigantur perpendicula DH, FK, fk hyperbolæ occurrentia in H, F, f, ſintque puncta F, f, infinitè propinqua, & erit area hyperbolica DHKF æqualis fluenti ſecundi termini; nam (*per theor. 4. de hyperbolâ*) $PD \times DH = PD^2 = PF \times FK$, & ideò $FK = \frac{PD^2}{PF}$, ac $FK \times Ff = \frac{PD^2 \times dx}{x}$ & area DHKF evaneſcit, ubi PF ſeu $x = PD$.

In 2°. caſu areæ DNI, fluxio eſt $\frac{dx}{x} = \frac{aadx}{x^3}$. Secundi termini fluxio eſt $\frac{aa}{2xx} + Q$, & invenitur $Q = -\frac{1}{2}$, poſitâ $x = a$, atque adeò fluens accurata, erit $\frac{aa}{2ax} - \frac{1}{2}$. Ponatur $a = 1$; & primi ter-

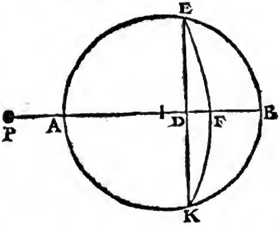


mini $\frac{dx}{x}$, fluens; erit area hyperbolica $DHKF = S. \frac{aadx}{x}$. Quarè area DNI eſt ut, $DHKF + \frac{1}{2} - \frac{1}{2}xx$.

Digitized by Google

PROPOSITIO LXXXIV. PROBLEMA XLIII.

Invenire vim, qua corpuſculum, extra centrum ſphæræ in axe ſegmenti cujuſvis locatum, attrahitur ab eodem ſegmento.



A ſegmento *E B K* trahatur corpus *P* in ejus axe *A D B* locatum. Centro *P* intervallo *P E* deſcribatur ſuperficies ſphærica *E F K*, quâ diſtinguatur ſegmentum in partes duas *E B K F E* & *E F K D E*. (b) Quæratur vis partis prioris per *prop.* LXXXI. & vis partis poſterioris per *prop.* LXXXIII.; & ſumma virium erit vis ſegmenti totius *E B K D E*. *Q. E. I.*

Scholium.

Explicatis attractionibus corporum ſphæricorum, jam pergere liceret ad leges attractionum aliorum quorundam ex particulis attractivis ſimiliter conſtantium corporum; ſed iſta particulatim tractare minus ad inſtitutum ſpectat. Suffecerit propoſitiones quaſdam generaliores de viribus hujuſmodi corporum deque motibus inde oriundis, ob (c) earum in rebus philoſophicis aliqualem uſum, ſubjungere.

SEC-

(b) * *Quæratur vis partis prioris.* 525. 529.

(c) * *Ob earum in rebus philoſophicis aliqualem uſum.* Vide quæſtiones Lib. 4. Optices NEWTONI. 30. theoremata ad calcem Aſtronomiæ Clariſſ. *Keillii*, Phyſicam Clariſſ. *s'Graveſandii*, Diſſertationem Clariſſ. *De Maupertuis* in Commentariis Pariſ. 1732. ubi has NEWTONI ſectiones clarè exponit.

Digitized by Google

SECTIO XIII.

De corporum nonſphæricorum viribus attractivis.

PROP. LXXXV. THEOR. XLII.

PROPOSITIO LXXXV. THEOREMA XLII.

Si corporis attracti, ubi attrahenti contiguum eſt, attractio longè fortior ſit, quam cum vel minimo intervallo ſeparantur ab invicem: vires particularum trahentis, in receſſu corporis attracti, decreſcunt in ratione pluſquam duplicatâ diſtantiarum à particulis.

Nam ſi vires decreſcunt in ratione duplicatâ diſtantiarum à particulis; attractio verſus corpus ſphæricum, propterea quod (*per prop.* LXXIV.) ſit reciproce ut quadratum diſtantiæ attracti corporis à centro ſphæræ, haud ſenſibiliter augebitur ex contactu; atque adhuc minus augebitur ex contactu, ſi attractio in receſſu corporis attracti decreſcat in ratione minore. Patet igitur propoſitio de ſphæris attractivis. Et (d) par eſt ratio orbium ſphæricorum concavorum corpora externa trahentium. Et multo magis res conſtat in orbibus corpora interius conſtituta trahentibus, cum attractiones paſſim per orbium cavitates ab attractionibus contrariis (*per prop.* LXX.) tollantur, ideoque vel ipſo contactu nullæ ſunt. Quod ſi ſphæris hiſce orbibuſque ſphæricis partes quælibet à loco contactus remotæ auferantur, & partes novæ ubivis addantur: mutari poſſunt figuræ horum corporum attractivorum pro lubitu, nec tamen partes additæ vel ſubductæ, cum ſint à loco contactus remotæ, augebunt notabiliter attractionis exceſſum, qui ex contactu oritur. Conſtat igitur propoſitio de corporibus figurarum omnium. *Q. E. D.*

PROPOSITIO LXXXVI. THEOREMA XLIII.

Si particularum, ex quibus corpus attractivum componitur, vires in receſſu corporis attracti decreſcunt in triplicatâ vel pluſquam triplicatâ ratione diſtantiarum à particulis, attractio longe fortior erit in contactu, quam cum trahens & attractum intervallo vel minimo ſeparantur ab invicem.

Nam attractionem in acceſſu attracti corpuſculi ad hujuſ-

(d) * *Et par eſt ratio orbium ſphæricorum concavorum.* (Per prop. 71.).

Digitized by Google

PROP. LXXXVI. THEOR. XLIII.

modi ſphæram trahentem (e) augeri in infinitum, conſtat per ſolutionem problematis XLI. in exemplo ſecundo ac tertio exhibitam. Idem, per exempla illa & theorema XLI. inter ſe collata, facile (f) colligitur de attractionibus corporum verſus orbes concavo-convexos, ſive corpora attracta collocentur extra orbes, ſive intra in eorum cavitatibus. Sed & addendo vel auferendo his ſphæris & orbibus ubivis extra locum contactûs materiam quamlibet attractivam, eò ut corpora attractiva induant figuram quamvis aſſignatam, conſtabit propoſitio de corporibus univerſis.

PROPOSITIO LXXXVII. THEOREMA XLIV.

Si corpora duo ſibi invicem ſimilia, & ex materiâ æqualiter attractivâ conſtantia, ſeorſim attrahant corpuſcula ſibi ipſis proportionalia & ad ſe ſimiliter poſita: attractiones acceleratrices corpuſculorum in corpora tota erunt ut attractiones acceleratrices corpuſculorum in eorum particulas totis proportionales, & in totis ſimiliter poſitas.

Nam ſi corpora diſtinguantur in particulas; quæ ſint totis proportionales, & in totis ſimiliter ſitæ; erit, ut attractio in particulam quamlibet unius corporis ad attractionem in particulam correſpondentem in corpore altero, ita attractiones in particulas ſingulas primi corporis ad attractiones in alterius particulas ſingulas correſpondentes; & componendo, ita attractio in totum primum corpus (g) ad attractionem in totum ſecundum. *Q. E. D.*

Co-

(e) * *Augeri in infinitum conſtat &c.* (521. 527. 531.).

(f) * *Facilè colligitur de attractionibus &c.* 528. 530. 532. 535. 536.

(g) 539. * *Ad attractionem in totum ſecundum.* Corpora ſimilia A, a, ſeorſim attrahant corpuſcula C, c ſibi ipſis proportionalia & ad ſe ſimiliter poſita, ſintque P, p particulæ totis A, a, proportionales & in totis ſimiliter ſitæ & attractio decreſcat in ratione dignitatis diſtantiarum, cujus ſit index n; erit attractio corpuſculi C in particulam P ad attractionem corpuſculi c in particulam p, ut $P \times pc^n$, ad $p \times PC^n$. Undè ſi corpora A & a in particulas innumeras ut P & p diviſâ intelligantur, erit, componendo, attractio corpuſculi C in totum corpus A ad attractionem corpuſculi c in totum corpus a, ut $P \times pc^n$ ad $p \times PC^n$, quod

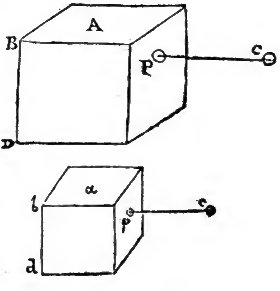
par-

Digitized by Google

Corol. 1. Ergo ſi vires attractivæ particularum, augendo diſtantias corpuſculorum attractorum, decreſcant in ratione dignitatis cujuſvis diſtantiarum; attractiones acceleratrices in corpora tota erunt ut corpora directè, & diſtantiarum dignitates illæ inverſè. Ut ſi vires particularum decreſcant in ratione duplicatâ diſtantiarum à corpuſculis attractis, corpora autem ſint ut *A cub.* & *B cub.* ideoque tum corporum latera cubica, tum corpuſculorum attractorum diſtantiæ à corporibus, ut *A* & *B*: attractiones acceleratrices in corpora erunt ut $\frac{A\ cub.}{A\ quad.}$ & $\frac{B\ cub.}{B\ quad.}$, id eſt, ut corporum latera illa cubica *A* & *B*. Si vires particularum decreſcant in ratione triplicatâ diſtantiarum à corpuſculis attractis; attractiones acceleratrices in corpora tota erunt ut $\frac{A\ cub.}{A.cub.}$ & $\frac{B\ cub.}{B\ cub.}$, id eſt, æquales. *Si* vires decreſcant in ratione quadruplicatâ; attractiones in corpora erunt ut $\frac{A\ cub.}{A\ q\ q.}$ & $\frac{B\ cub.}{B\ q\ q.}$, id eſt, reciprocè ut latera cubica *A* & *B*. Et ſic in cæteris. *Co-*

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. LXXXVII. THEOR. XLIV.

particulæ omnes P, p ſint ubique totis ſimiles & in iis ſimiliter ſitæ, & diſtantiæ earum à corpuſculis C, c ſemper maneant proportionales diſtantiis P C, p c. Cum igitur ſit P ad p ut A ad a, & diſtantiæ p c, P C ſint lateribus homologis b d, B D proportionales (*ex Hyp.*) erit attractio corpuſculi C, in totum corpus A, ad attractionem corpuſculi c in totum corpus a, ut $A \times pc^n$ ad $a \times PC^n$, atque etiam ut $A \times bd^n$ ad $a \times BD^n$, & ut $BD^3 \times bd^n$, ad $bd^3 \times BD^n$, hoc eſt, ut bd^{n-3} ad BD^{n-3}, ob proportionales $A : a = BD^3 : bd^3$, (*per Hyp.*) ex quibus patet corollarium 1um. quod ſequitur; Nam ſi $n = 2$, erunt attractiones ut B D ad b d; ſi $n = 3$, erunt æquales; ſi, $n = 4$, erunt ut b d, ad B D, hoc eſt, reciprocè ut latera cubica corporum.



DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS.

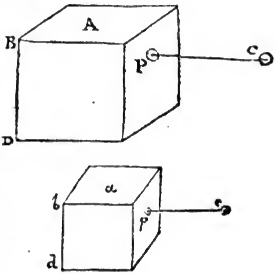
Corol. 2. (h) Unde viciſſim, ex viribus, quibus corpora ſimilia trahunt corpuſcula ad ſe ſimiliter poſita, colligi poteſt ratio decrementi virium particularum attractivarum in receſſu corpuſculi attracti; ſi modo decrementum illud ſit directè vel inverſè in ratione aliquâ diſtantiarum.

PROP. LXXXVIII. THEOR. XLV.

PROPOSITIO LXXXVIII. THEOREMA XLV.

Si particularum æqualium corporis cujuſcunque vires attractivæ ſint ut diſtantiæ locorum à particulis: vis corporis totius tendet ad ipſius centrum gravitatis; & eadem erit cum vi globi ex materiâ conſimili & æquali conſtantis, & centrum habentis in ejus centro gravitatis.

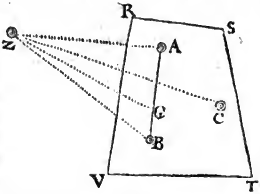
Corporis $RSTV$ particulæ A, B trahant corpuſculum aliquod Z viribus, quæ, ſi particulæ æquantur inter ſe, ſint ut diſtantiæ AZ, BZ; ſin particulæ ſtatuantur inæquales, ſint ut hæ particulæ & ipſarum diſtantiæ AZ, BZ conjunctim,



(h) 540. * *Undè viciſſim &c.* Nam ſi experimentis inventum ſit attractionem corpuſculi C in corpus A, eſſe ad attractionem corpuſculi c, in corpus a, ut eſt B D ad b d, vel ut 1 ad 1, vel ut b d ab B D, vires particularum attractivarum decreſcunt in ratione diſtantiarum duplicatâ, vel triplicatâ, vel quadruplicatâ (539). Et generatim, ſi experimentis inventa fuerit attractio corpuſculi C in A ad attractionem corpuſculi c in a, ut numerus N ad numerum n, ponaturque vim particularum attractivarum in receſſu corpuſculi attracti decreſcere in ratione dignitatis diſtantiarum cujus ſit index x erit (539) $n : N = BD^{x-3} : bd^{x-3}$, adeóque (ſi L logarithmum ſignificet quantitatis cui præponitur) erit $L.\frac{n}{N} = L.\frac{BD^{x-3}}{bd^{x-3}} = \overline{x-3} \times L.\frac{BD}{bd}$. Quarè erit $x \times L.\frac{BD}{bd} = L.\frac{n}{N} + 3.\ L.\frac{BD}{bd}$, & $x = \frac{L.\frac{n}{N}}{L.\frac{BD}{bd}} + 3$. Invenietur itaque dignitatis index x, per tabulas logarithmicas. Exempli causâ. Si $\frac{n}{N} = \frac{bd}{BD}$, erit $L.\frac{bd}{BD} = - L.\frac{BD}{bd}$, & ideò $x = -1 + 3 = 2$. Si $\frac{n}{N} = 1$, erit $L.\frac{n}{N} = 0$, & proindè $x = 3$. Si $\frac{n}{N} = \frac{BD}{bd}$, erit $x = 4$, prorsùs ut ſuprà. Si $\frac{n}{N} = \frac{BD^p}{bd^p}$, erit $L.\frac{n}{N} = p \times L.\frac{BD}{bd}$, & $x = p + 3$. Sed ſi $\frac{n}{N} =$

b d

ſive (ſi ita loquar) ut hæ particulæ in diſtantias ſuas AZ, BZ reſpectivè ductæ. Et exponantur hæ vires per contenta illa $A \times AZ$ & $B \times BZ$. Jungatur AB, & ſecetur ea in G ut ſit AG ad BG ut particula B ad particulam A; & erit G commune centrum gravitatis particularum A & B. Vis $A \times AZ$ (*per legum corol.* 2.) reſolvitur in vires $A \times GZ$ & $A \times AG$, & vis $B \times BZ$ in vires $B \times GZ$ & $B \times BG$. Vires autem $A \times AH$ & $B \times BG$, ob proportionales A ad B & BG ad AG, æquantur; ideoque cum dirigantur in partes contrarias, ſe mutuo deſtruunt. Reſtant vires $A \times GZ$ & $B \times GZ$. Tendunt hæ ab Z verſus centrum G, & vim $\overline{A+B} \times GZ$ componunt; hoc eſt, vim eandem ac ſi particulæ attractivæ A & B conſiſterent in eorum communi gravitatis centro G, globum ibi componentes.



Eodem argumento, ſi adjungatur particula tertia C, & componatur hujus vis cum vi $\overline{A+B} \times GZ$ tendente ad centrum G; vis inde oriunda tendet ad commune centrum gravitatis globi illius in G & particulæ C; hoc eſt, ad commune centrum gravitatis trium particularum A, B, C; & eadem erit, ac ſi globus & particula C conſiſterent in centro illo communi, globum majorem ibi componentes. Et ſic pergitur in infinitum. Eadem eſt igitur vis tota particularum omnium corporis cujuſcunque $RSTV$; ac ſi corpus illud, ſervato gravitatis centro, (i) figuram globi indueret. *Q. E. D.*

Corol. Hinc motus corporis attracti Z idem erit, ac ſi corpus attrahens $RSTV$ eſſet ſphæricum: & propterea ſi corpus illud

$\frac{b\,d\,p}{B\,D\,p}$, invenietur $x = 3 - p$. Si $\frac{BD}{bd} = 10$, erit $x = \frac{L\frac{n}{N}}{1.0000000} + 3 = L\frac{n}{N} + 3$.

(i) * *Figuram globi indueret.* Per prop. 77.

lud attrahens vel quieſcat, vel progrediatur uniformiter in directum; corpus attractum (k) movebitur in ellipſi centrum habente in attrahentis centro gravitatis.

PROPOSITIO LXXXIX. THEOREMA XLVI.

Si corpora ſint plura ex particulis æqualibus conſtantia, quarum vires ſunt ut diſtantiæ locorum à ſingulis: vis ex omnium viribus compoſita, quâ corpuſculum quodcunque trahitur, tendet ad trahentium commune centrum gravitatis; & eadem erit, ac ſi trahentia illa, ſervato gravitatis centro communi, coirent & in globum formarentur.

Demonſtratur eodem modo, atque propoſitio ſuperior.

Corol. Ergo motus corporis attracti idem erit, ac ſi corpora trahentia, ſervato communi gravitatis centro, coirent & in globum formarentur. Ideoque ſi corporum trahentium commune gravitatis centrum vel quieſcit, vel progreditur uniformiter in lineâ rectâ; corpus attractum movebitur in ellipſi, centrum habente in communi illo trahentium centro gravitatis.

PROPOSITIO XC. PROBLEMA XLIV.

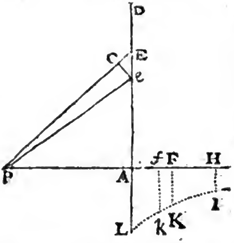
Si ad ſingula circuli cujuſcunque puncta tendant vires æquales centripetæ, creſcentes vel decreſcentes in quâcunque diſtantiarum ratione: invenire vim, quâ corpuſculum attrahitur ubivis poſitum in rectâ, quæ plano circuli ad centrum ejus perpendiculariter inſiſtit.

Centro A intervallo quovis AD, in plano, cui recta AP perpendicularis eſt, deſcribi intelligatur circulus; & invenienda ſit vis, quâ corpuſculum quodvis P in eundem attrahitur. A circuli puncto quovis E ad corpuſculum attractum P agatur recta PE. In rectâ PA capiatur PF ipſi PE æqualis, &

(k) * *Movebitur in ellipſi &c.* Per cor. prop. 78. & per cor. . prop. 10.

Digitized by Google

& erigatur normalis FK, quæ ſit ut vis quâ punctum E trahit corpuſculum P. Sitque IKL curva linea quam punctum K perpetuò tangit. Occurrat eadem circuli plano in L. In PA capiatur PH æqualis PD, & erigatur perpendiculum HI curvæ prædictæ occurrens in I; & erit corpuſculi P attractio in circulum ut area $AHIL$ ducta in altitudinem AP. *Q. E. I.*

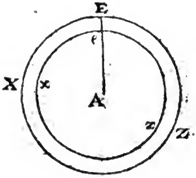


Etenim in AE capiatur linea quàm minima Ee. Jungatur Pe & in PE, PA capiantur PC, Pf ipſi Pe æquales. Et quoniam vis, quâ annuli centro A intervallo AE in plano prædicto deſcripti punctum quodvis E trahit ad ſe corpus P, ponitur eſſe ut FK, & inde vis quâ punctum illud trahit corpus P verſus A, (l) eſt ut $\frac{AP \times FK}{PE}$, & vis, quâ annulus totus trahit corpus P verſus A, ut annulus & $\frac{AP \times FK}{PE}$ conjunctim; (m) annulus autem iſte eſt ut rectangulum ſub radio AE & latitudine Ee, & hoc (n) rectangulum (ob proportionales PE & AE, Ee & CE) æquatur rectangulo $PE \times CE$ ſeu $PE + Ff$; erit vis, quâ annulus iſte trahit corpus P verſus A, ut $PE \times Ff$ & AB

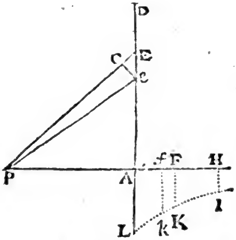
(l) * *Eſt ut* $\frac{AP \times FK}{PE}$, per leg. cor. 2.

(m) * *Annulus autem iſte &c.* Nam annulus E Z X e, æqualis eſt differentiæ circulorum A E Z X, A e z x, hoc eſt, $\frac{AE \times EZXE - Ae \times ezxe}{2}$, & quoniam evaneſcente E e, fit $\overline{EZXE} = \overline{ezxe}$, erit annulus evaneſcens ut A E − A e × EZXE, hoc eſt, ut E e × E Z X E ſive quia radius A E eſt ut peripheria E Z X E, ut E e × A E.

(n) * *Et hoc rectangulum &c.* Anguli enim ad C & A recti æquantur, &



$\frac{AP \times FK}{PE}$ conjunctim, id eſt, ut contentum $Ff \times FK \times AP$, ſive ut area $fKkf$ ducta in AP. Et (o) propterea ſumma virium, quibus annuli omnes in circulo, qui centro A & intervallo AD deſcribitur, trahunt corpus P verſus A, eſt ut area tota $AHIKL$ ducta in AP. *Q. E. D.*



Corol. 1. Hinc ſi vires punctorum decreſcunt in duplicatâ diſtantiarum ratione, hoc eſt, ſi ſit FK ut $\frac{1}{PF \text{ quad.}}$, (p) atque ideo area $AHIKL$ ut $\frac{1}{PA} - \frac{1}{PH}$; erit attractio corpuſculi P in circulum ut $1 - \frac{PA}{PH}$, id eſt, ut $\frac{AH}{PH}$.

Corol. 2. Et univerſaliter, ſi vires punctorum ad diſtantias D ſint reciprocè ut diſtantiarum dignitas quælibet D^n, hoc eſt, ſi ſit FK ut $\frac{1}{D^n}$, (q) ideoque area $AHIKL$ ut $\frac{1}{PA^{n-1}} - \frac{1}{PH^{n-1}}$

angulus P E A utrique triangulo C E c, A E P communis eſt, adeòque triangula hæc ſimilia ſunt, & latera habent proportionalia. (*Per prop. 4. lib. 6. Elem.*)

(o) * *Et propterea ſumma virium &c.* Per cor. lem. 4.

(p) * *Atque ideò area &c.* Sit enim $PF = x$, $Ff = dx$, & erit $FK \times Ff$, ut $\frac{dx}{xx}$ (*ex hyp.*) cujus fluens eſt $-\frac{1}{x} + Q.$ *conſt.* (165); Et quoniam area A L K F evaneſcere debet, ubi $PF = PA$, erit $Q = \frac{1}{PA}$ & area A L K F ut $\frac{1}{PA} - \frac{1}{PF} = \frac{1}{PA} - \frac{1}{PH}$ ubi $PF = PH$. Cùm igitur attractio corpuſculi P, in circulum ſit ut A H I K L $\times$ P A, erit quoque ut $1 - \frac{PA}{PH} = \frac{PH - PA}{PH} = \frac{AH}{PH}$.

(q) * *Ideòque area &c.* Si enim D dicatur x, erit $PK \times Ff$ ut $\frac{dx}{x^n}$, (*ex hyp.*) & (165.) area A F K L, ut $\frac{-1}{(n-1)x^{n-1}} + Q.$ *conſt.* poſitâ x ſeu $PF = PA$, invenitur $Q = \frac{1}{(n-1)PA^{n-1}}$, ideòque area A F K L, ut $\frac{1}{(n-1)PA^{n-1}} - \frac{1}{(n-1)x^{n-1}}$

hoc

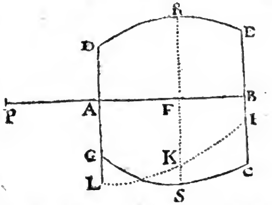
$-\frac{1}{PH^{n-1}}$; erit attractio corpuſculi P in circulum ut $\frac{1}{PA^{n-2}} - \frac{PA}{PH^{n-1}}$.

Corol. 3. Et ſi diameter circuli augeatur in infinitum, & numerus n ſit unitate major; attractio corpuſculi P in planum totum infinitum erit reciprocè ut PA^{n-2}, propterea quod (r) terminus alter $\frac{PA}{PH^{n-1}}$ evaneſcet.

PROPOSITIO XCI. PROBLEMA XLV.

Invenire attractionem corpuſculi ſiti in axe ſolidi rotundi, ad cujus puncta ſingula tendunt vires æquales centripetæ in quâcunque diſtantiarum ratione decreſcentes.

In ſolidum (ſ) $DECG$ trahatur corpuſculum P, ſitum in ejus axe AB. Circulo quolibet RFS ad hunc axem perpendiculari ſecetur hoc ſolidum, & in ejus ſemidiametro FS, in plano aliquo $PALKB$ per axem tranſeunte, capiatur (*per prop.* XC.) longitudo FK vi, quâ corpuſculum P in circulum illum attrahitur, proportionalis. Tangat autem punctum K curvam lineam LKI; planis extimorum circulorum AL & BI occurrentem in L & I; & erit attractio corpuſculi P in ſolidum ut (t) area $LABI$. *Q. E. I.*



Co-

hoc eſt, ob datam quantitatem $n-1$, ut $\frac{1}{PA^{n-1}} - \frac{1}{PH^{n-1}}$ ubi $PF = PH$.

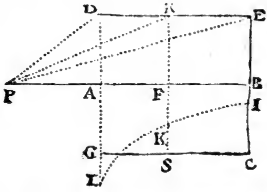
(r) * *Terminus alter evaneſcet.* Ob PH, infinitam.

(ſ) * *In ſolidum* $DECG$ *&c.* Convolutione ſuperficiei $ADREB$ circà axem AB genitum.

(t) * *Ut area* $LABI$. Patet per cor. lem. 4. Nam area illa eſt ut ſumma virium ſingulorum circulorum, qui per omnia puncta lineæ AB deſcribi poſſunt.

541. *Scholium.* Sit abſciſſa $PF = x$; ejus fluxio dx, ordinatim applicata $FR = y$, $PR = \sqrt{yy + xx}$, & vis reciprocè ut

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XCI. Probl. XLV.



Corol. 1. Unde ſi ſolidum cylindrus ſit, parallelogrammo $ADEB$ circa axem AB revoluto deſcriptus, & vires centripetæ in ſingula ejus puncta tendentes ſint reciprocè ut quadrata diſtantiarum à punctis: (u) erit attractio corpuſculi P in hunc cylindrum ut $AB - PE + PD$. Nam ordinatim applicata FK (*per corol.* 1. *prop.* XC.) erit ut $1 - \frac{PF}{PR}$. Hujus pars 1 ducta in longitudinem AB, deſcribit aream $1 \times AB$: & pars altera $\frac{PF}{PR}$ ducta in longitudinem PB, deſcribit aream 1 in $\overline{PE - AD}$, id quod ex curvæ LKI quadraturâ facilè oſtendi poteſt; & ſimiliter pars eadem ducta in longitudinem PA deſcribit aream 1 in $\overline{PD - AD}$, ductaque in ipſarum PB, PA differentiam AE deſcribit arearum differentiam 1 in $\overline{PE - PD}$. De contento primo $1 \times AB$ auferatur contentum poſtremum 1 in $\overline{PE - PD}$, & reſtabit area $LABI$ æqualis 1 in $\overline{AB - PE + PD}$. Ergo vis, huic areæ proportionalis, eſt ut $AB - PE + PD$.

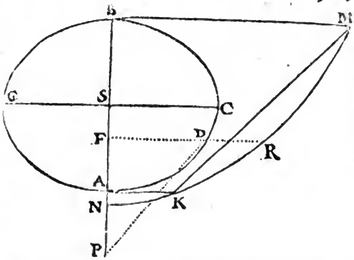
Co-

ut diſtantiæ dignitas cujus index n, erit FK ut $\frac{1}{PF^{n-2}} - \frac{PF}{PR^{n-1}} = \frac{1}{x^{n-2}} - \frac{x}{(yy+xx)^{\frac{n-1}{2}}}$ (per cor. 2. prop. 90.) Quarè areæ AFKL fluxio erit ut $\frac{dx}{x^{n-2}} - \frac{-xdx}{(yy+xx)^{\frac{n-1}{2}}}$, & hujus fluens ut vis quâ corpuſculum P in ſolidum DRSG trahitur. Datâ verò curvæ DRE naturâ, inveniendus eſt valor ordinatæ y per abſciſſam x, & indè fluens determinanda.

(u) * *Erit attractio corpuſculi P &c.* Si ordinatim applicata FR, dicatur b, patet (419) areæ AFKL, elementum fore ut $dx - \frac{xdx}{(bb+xx)^{\frac{1}{2}}}$. Fiat $bb + xx = zz$; & erit $xdx = zdz$, & proindè elementum prædictum ut $dx - dz$. Quarè AFKL erit ut $x - z + Q$, & quoniam hæc area evaneſcit, ubi PF, ſeu $x =$ PA, & PR ſeu $z =$ PD, erit $Q =$ PD $-$ PA, & area AFKL, ſeu attractio corpuſculi P, in cylindrum DRSG, ut PF $-$ PR $+$ PD $-$ PA $=$ AF $-$ PR $+$ PD $=$ AB $-$ PE $+$ PD, ubi fit PF $=$ PB, & PR $=$ PE.

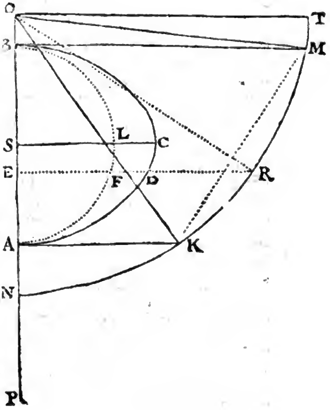
Digitized by Google

Corol. 2. Hinc etiam vis innoteſcit, quâ ſphærois *AGBC* attrahit corpus quodvis *P*, exterius in axe ſuo *AB* ſitum. (x) Sit *NKRM* ſectio conica cujus ordinatim applicata *E R*, ipſi *P E* perpendicularis, æquetur ſemper longitudini *P D*, quæ ducitur ad punctum illud *D*, in quo applicata iſta ſphæroidem ſecat.



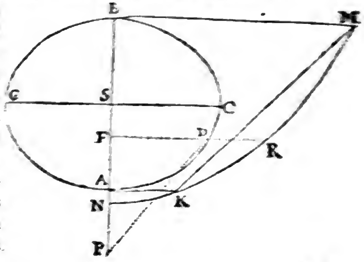
(x) 542. *Sit N K R M ſectio conica cujus ordinatim applicata E R æquetur ſemper longitudini P D &c.* Sit A P $= a$, curvæ datæ A C B cujus convolutione generatur ſphærois ſit ſemiaxis A S $= b$, alter ſemiaxis S C $= c$, A E $= x$, erit P E $= a + x$, & (ex naturâ Ellipſeos) erit $ED^2 = \frac{cc}{bb} \times \overline{2bx - xx}$; unde quadratum E R ordinatæ ad curvam N K R M ſive $PD^2 = PE^2 + ED^2 = a^2 + 2ax + xx + \frac{cc}{bb} \times 2bx - \frac{cc}{bb}xx$; cum ergo hæc Æquatio ad curvam N K R M, ultrà ſecundum gradum non aſſurgat conſtat eam curvam eſſe ex Sectionibus Conicis: erit autem Ellipſis ſi quantitas $xx - \frac{cc}{bb}xx$ ſit negativa, quod evenit ubi S C (ſive c) major eſt quàm A S (ſive b); Erit verò Parabola ſi ea quantitas evaneſcat, ideoque ſi $c = b$ quod evenit ubi curva A C B eſt circulus; Denique erit Hyperbola ſi ea quantitas ſit poſitiva, hoc eſt, ſi A S ſit longior axis.

543. Sit A C B Ellipſis cujus axis C S ſit major axi A S, quo caſu curva N K R M erit Ellipſis, hac ratione ejus curvæ NKRM determinabuntur Axes & Vertex. Dicatur ejus Ellipſeos N K R M ſemiaxis ON $= s$, alter ſemiaxis O T dicatur t, diſtantia verticis N à vertice A curvæ A C B, dicatur



DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XCI. PROBL. XLV.

ſecat. A ſphæroidis verticibus *A*, *B* ad ejus axem *AB* erigantur perpendicula *AK*, *BM* ipſis *AP*, *BP* æqualia reſpectivè, & propterea ſectioni conicæ occurrentia in *K* & *M*; & jungatur *KM* auferens ab eâdem ſegmentum *KMRK*. Sit autem



ſphæ-

p, abſciſſa NE erit $= p + x$, & ordinatæ ER quadratum erit ex Ellipſeos natura $\frac{ss}{tt}\times\overline{2tp+2tx-pp-2px-xx}$, quod ex conſtructionis Hypotheſi fuit repertum (542) $= a^2 + 2ax + xx + \frac{cc}{bb}2bx - \frac{cc}{bb}xx$. Conferantur horum valorum termini homogenei, ſcilicet conſtantes cum conſtantibus, eos qui unam variabilem includunt cum ſimilibus &c. fient tres iſtæ Æquationes (variabilibus deletis $a^2 = \frac{ss}{tt}\times\overline{2tp-pp}$, $a + \frac{cc}{b} = \frac{ss}{tt}\times\overline{t-p}$; $1 - \frac{cc}{bb} = -\frac{ss}{tt}$. Ex hac tertiâ Æquatione, mutatis ſignis utrinque, reducto primo membro ad communem denominatorem, & inverſis terminis fit $\frac{tt}{ss} = \frac{bb}{cc-bb}$ & $tt = \frac{bbs^2}{cc-bb}$. Tum ſecundæ Æquationis $a + \frac{cc}{b} = \frac{ss}{tt}\times\overline{t-p}$ multiplicatis terminis per $\frac{tt}{ss}$, reductione factâ primi membri ad eumdem denominatorem, & ſubſtitutione factâ valoris $\frac{tt}{ss}$ ſuprà inventi fit $t-p = \frac{b}{cc-bb}\times\overline{ba+cc}$.

Denique, primæ Æquationis $a^2 = \frac{ss}{tt}\times\overline{2tp-pp}$ multiplicatis membris per $\frac{tt}{ss}$, ſubſtituto ejus valore, utrinque mutatis ſignis & addito tt, fit tandem $tt - \frac{b^2}{c^2-b^2}a^2 = tt - 2tp + pp$, in quâ novâ Æquatione cum ſecundum membrum ſit ipſum quadratum quantitatis $t-p$, ſubſtituto ejus valore prius reperto, & loco tt in primo membro ſubſtituto etiam ejus valore, fit $\frac{bb}{c^2-b^2}\times\overline{s^2-a^2} = \frac{bb}{\overline{c^2-b^2}^2}\times\overline{ba+cc}^2$ & diviſo utroque membro per $\frac{b^2}{c^2-b^2}$ tranſponendo a^2, & reducendo ſecundum membrum ad communem denominatorem, deletiſque terminis ſeſe deſtruentibus eſt $s^2 = \frac{c^2}{c^2-b^2}\times\overline{a^2+2ab+c^2}$, ſive quia $PS = a+b$ eſt $PS^2 - b^2 + a^2 + 2ab$, ideoque eſt $s^2 = \frac{c^2}{c^2-b^2}\times\overline{PS^2-b^2+c^2}$ nempe $OT^2 = \frac{CS^2}{CS^2-AS^2}\times\overline{PS^2-AS^2+CS^2}$ qui termini ſunt omnes dati, hoc ergo invento cætera ad Ellipſim pertinentia commodè invenientur.

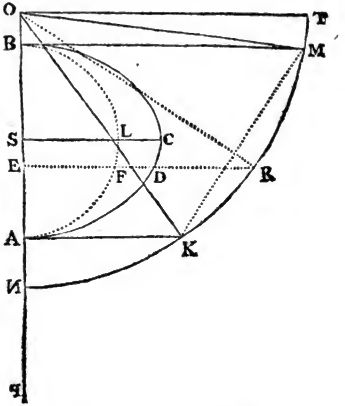
In gratiam notæ ſequentis, ex his va-

lorem

ſphæroidis centrum S & ſemidiameter maxima $S C$: & vis, quâ ſphæ-

lorem quantitatis $\frac{s^2+t^2-PO^2}{s^2}$ determinabimus, quam eſſe æqualem quantitati $\frac{CS^2}{PS^2-AS^2+CS^2}$, ita ex valoribus ſupra inventis ſtatuitur; Eſt $t t=\frac{b b s^2}{c^2-b^2}$ ex tertiâ Æquatione, unde erit $s^2+t^2=\frac{b^2 s^2+c^2 s^2-b^2 s^2}{c^2-b^2}=\frac{c^2 s^2}{c^2-b^2}$, ideoque $\frac{s^2+t^2}{s^2}=\frac{c^2}{c^2-b^2}=\frac{CS^2}{CS^2-AS^2}$. Eſt verò $AO=s-p$, & $PO=PA+AO$ $=a+s-p$, & cùm ſit $s-p=\frac{b}{cc-bb}\times\overline{ba+cc}$ (ex ſecundâ Æquatione) eſt PO $=a+\frac{b}{cc-bb}\times\overline{ba+cc}$, quo valore reducto ad communem denominatorem, deletiſque terminis ſeſe deſtruentibus eſt $PO=\frac{cc}{c^2-b^2}\times\overline{a+b}$ ſive $=\frac{CS^2}{CS^2-AS^2}\times PS$, cùmque ſit $s^2=\frac{CS^2}{CS^2-AS^2}\times\overline{PS^2-AS^2+CS^2}$ eſt $\frac{PO}{s^2}=\frac{PS}{PS^2-AS^2+CS^2}$ & $\frac{PO^2}{s^2}=\frac{CS^2}{CS^2-AS^2}\times\frac{PS^2}{PS^2-AS^2+CS^2}$ Unde tandem eſt $\frac{s^2+t^2-PO^2}{s^2}=\frac{CS^2}{CS^2-AS^2}$ $-\frac{CS^2}{CS^2-AS^2}\times\frac{PS^2}{PS^2-AS^2+CS^2}$, ſive $=\frac{CS^2}{CS^2-AS^2}\times 1-\frac{PS^2}{PS^2-AS^2+CS^2}$ reducendoque ad eumdem denominatorem, deletiſque terminis ſeſe deſtruentibus $=\frac{CS^2}{CS^2-AS^2}\times\frac{-AS^2+CS^2}{PS^2-AS^2+CS^2}=$ $\frac{CS^2}{PS^2-AS^2+CS^2}$ diviſo numeratore & denominatore per CS^2-AS^2. Eſt ergo $\frac{s^2+t^2-PO^2}{s^2}=\frac{CS^2}{PS^2-AS^2+CS^2}$ Q. E. D.

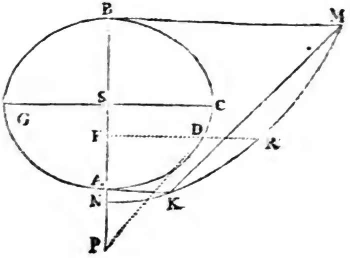
544. Sit autem curva data A C B circulus, ita ut ſphærois ejus convolutione genita, ſit accurata ſphæra, erit curva N K R M Parabola, ſtantibus enim quæ in n°. 542. dicta ſunt, erit ut prius $PE=a+x$, & ex naturâ Circuli $EP^2=2bx-xx$, unde erit PF^2 quadratum $=PE^2+EF^2=$ $a^2+2ax+xx+2bx-xx=a^2+2ax+2bx$; cum ergo ordinata E R ad curvam NKRM



ſumatur æqualis P F, ejus ordinatæ quadratum erit æquale abſciſſæ ipſi per quantitates conſtantes ductæ, ſed ultra primum gradum non aſſurgenti, quæ eſt Parabolæ proprietas. Dicatur ergo ejus Parabolæ latus rectum l, diſtantiâ verticis N à vertice A curvæ A C B dicatur p, abſciſſa N E erit $p+x$ & ex Parabolæ natura erit ordinatæ E R quadratum $=lp+lx$ conferatur hic valor cum valore ejuſdem E R supra invento $2a+2ax+2bx$, termini conſtantes cum conſtantibus & qui variabilem includunt cum ſimilibus, fient duæ Æquationes $lp=a^2$, & $l=2a+2b=2PS$,

 ideo-

ſphærois (†) trahit corpus *P*, erit ad vim, quâ ſphæra diametro *AB* deſcripta trahit idem corpus, ut $\frac{AS \times CSq - PS \times KMRK}{PSq + CSq - ASq}$



ad $\frac{AS\ cub.}{3\ PS\ quad.}$. Et eodem computandi fundamento invenire licet vires ſegmentorum ſphæroidis.

ideoque $p = \frac{a^2}{2a+2b} = \frac{PA^2}{2PS}$; & cum ex natura Parabolæ ſit $EK^2 = x \times p + x$ erit $p + x = NE = \frac{ER^2}{2PS}$; Cumque area Parabolica inter abſciſſam, ordinatam, & curvam intercepta ſit æqualis duobus tertiis Rectanguli abſciſſæ per ordinatam, erit area Parabolica $NER = \frac{\frac{2}{3}ER^3}{2PS} = \frac{ER^3}{3PS}$, & quoniam, ex conſtructione, ordinatæ in A & B erectæ ſunt æquales PA & PB, erit area Parabolica $PAK = \frac{PA^3}{3PS}$ & area Parabolica $PBM = \frac{PB^3}{3PS} = \frac{\overline{PA + 2AS}^3}{3PS}$ & differentia harum arearum AKRMB reſpondens axi Sphæræ AB, erit $\frac{6PA^2 \times AS + 12 PA \times AS^2 + 8 AS^3}{3PS}$ & denique dempto trapezio AKMB, ſegmentum Parabolicum reſiduum KRM erit æquale $\frac{2BS^3}{3PS}$, trapezium enim AKMB eſt æquale $\frac{1}{2}AB \times \overline{AK + BM}$ ſive (quia $\frac{1}{2}AB = AS$, $AK = PA$ & $BM = PB = PA + 2AS$) eſt æquale $2AS \times PA + 2AS^2$, & reducendo ad denominatorem $3PS$ ſive $3PA + 2AS$ eſt æquale $\frac{6AS \times PA^2 + 12AS^2 \times PA + 6AS^3}{3PS}$ quod deductum ex area AKRMB = $\frac{6PA^2 \times AS + 12 PA \times AS^2 + 8AS^3}{3PS}$ remanet $\frac{2AS^3}{3PS}$. Q. E. D.

(†) 545. *Vis quâ ſphærois trahit corpus P eſt ad vim quâ ſphæra Diametro AB deſcripta trahit idem corpus ut* $\frac{AS \times CS^2 - PS \times KMRK}{PS^2 \times CS^2 - AS^2}$ ad $\frac{AS^3}{3PS^2}$.

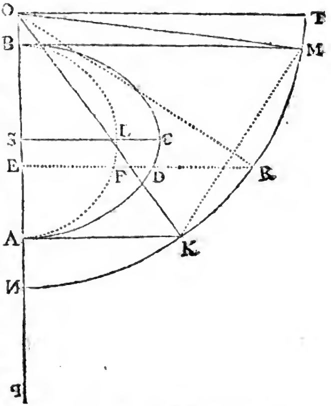
Supponatur juxta ſolutionem hujuſce Problematis, curvam deſcribi ſecundam AP, cujus

jus ordinatæ ſingulo puncto E applicatæ ſint æquales vi quâ corpus P à circulo cujus radius eſt E D trahitur; ea vis eſt per Cor. 1. Prop. xc. ut $1 - \frac{PE}{PD}$, ſit C E hujus curvæ abſciſſa ſumpta à puncto O (centro curvæ N K R M juxta notam 543. determinatæ) dicaturque z, ejus fluxio erit dz, fluxio itaque areæ curvæ quæ exhibet vim ſphæroidis erit $dz - \frac{PE}{PD}dz$, cumque ſit $PE = PO - OE = PO - z$ & $PD =$ E R ordinatæ curvæ N K R M, per conſtructionem, ſitque E R (ut facile deducitur ex nº. 543) $= \frac{t}{s}\sqrt{ss - zz}$, fluxio ejus areæ erit

$$dz - \frac{PO\,dz}{\frac{t}{s}\sqrt{ss-zz}} + \frac{z\,dz}{\frac{t}{s}\sqrt{ss-zz}}$$

Terminorum poſitivorum $dz + \frac{z\,dz}{\frac{t}{s}\sqrt{ss-zz}}$ fluens eſt $z - \frac{s}{t}\sqrt{ss-zz}$ (165) ſed ut $z = OE$ & $\frac{t}{s}\sqrt{ss-zz} = \frac{ss}{tt} \times \frac{t}{s}\sqrt{ss-zz} = \frac{ss}{tt}ER$ fluxio terminis poſitivis reſpondens eſt $OE - \frac{ss}{tt}ER$, & area toti lineæ OA reſpondens eſt $OA \frac{s^2}{t^2} AK$, ex quâ demenda area parti O B reſpondens ſecundum quam curva quæ vim ſphæroidis exprimit non ducitur quæque eſt $OB - \frac{s^2}{t^2}BM$, utque per conſtructionem $AK = AP$, & $BM = PB = BA + AP$ erit vera fluens $OA - OB - \frac{s^2}{t^2} \times \overline{AB - BA - AP} = AB + \frac{s^2}{t^2}AB = AB \times \frac{s^2 + t^2}{t^2}$.

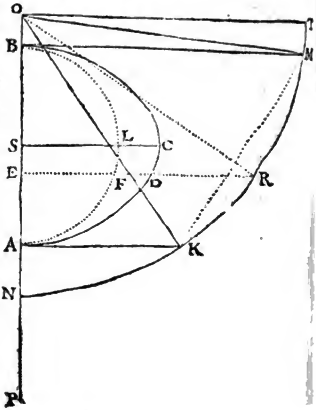
Tertii termini $\frac{PO\,dz}{\frac{t}{s}\sqrt{ss-zz}}$ fluens ſic invenitur, Sectoris Elliptici TOK fluxio eſt (424) $\frac{\frac{1}{2}st\,dz}{\sqrt{ss-zz}}$ multiplicetur per $\frac{2PO}{t^2}$ naſcetur terminus propoſitus $\frac{PO\,dz}{\frac{t}{s}\sqrt{ss-zz}}$ unde fluens termini propoſiti erit Sector ille Ellipticus T O K per $\frac{2PO}{t^2}$ multiplicatus, ſed quoniam area quæſita non reſpondet toti O A, ſed tantum ejus parti A B, vera fluens areæ quæſitæ ex tertio termino inveniendo eſt ſector $TOK \times \frac{2PO}{t^2}$ dempto ſectore $TOM \times \frac{2PO}{t^2}$ ſive ſector $MOK \times \frac{2PO}{t^2}$; Dividitur autem ſector M O K in figuram rectilineam M O K & mixtilineam M R K; Triangulum M O K valet $\frac{1}{2}PO \times AB$, nam producatur recta M K pertinget ad P, propter $PA = AK$ & $PB = BM$, totum verò Triangulum $OMP = \frac{1}{2}OP \times BM = \frac{1}{2}OP \times PB$, & Triangulum $OKP = \frac{1}{2}OP \times AK = \frac{1}{2}OP \times AP$, unde ſublato Triang. O K P ex Triang. O M P, remanet Triang. O M K



$= \frac{1}{2} OP \times PB - AP = \frac{1}{2} OP \times AB$. Unde tandem fluens quæſita hujus tertii termini eſt $\frac{2PO}{t^2} \times \frac{1}{2} OP \times AB + \frac{2PO}{t^2} \times MRK = \frac{PO^2}{t^2} \times AB + \frac{2PO}{t^2} \times MRK$, quæ detracta ex fluente terminorum poſitivorum $AB \times \frac{s^2+t^2}{t^2}$ fit $AB \times \frac{s^2+t^2-PO^2}{t^2} - \frac{2PO}{t^2} \times MRK$, cum ergo ſit $\frac{s^2+t^2-PO^2}{t^2} = \frac{CS^2}{PS^2-AS^2+CS^2}$ & $\frac{PO}{t^2} = \frac{PS}{PS^2-AS^2+CS^2}$ (543) eſt fluens quæſita (quia $AB = 2AS$) $\frac{2AS \times CS^2 - 2PS \times MRK}{PS^2 - AS^2 + CS^2}$.

Si autem curva ACB ſit circulus, ſphæroïs in ſphæram veram mutatur, fit $CS = AS$ & ſegmentum MRK fit $\frac{2AS^3}{3PS}$ (544) ideoque mutatur hæc formula in iſtam $\frac{2AS \times AS^2 - \frac{2PS \times 2AS^3}{3PS}}{PS^2 - AS^2 + AS^2} = \frac{2AS^3 - \frac{4}{3}AS^3}{PS^2} = \frac{2AS^3}{3PS^2}$ quæ exprimet vim ſphæræ; itaque diviſa expreſſione vis ſphæroidis & vis ſphæræ per communem multiplicatorem 2; Erit *vis ſphæroidis ad vim ſphæræ ut* $\frac{AS \times CS^2 - PS \times MRK}{PS^2 - AS^2 + CS^2}$ *ad* $\frac{AS^3}{3PS^2}$. Q. E. D.

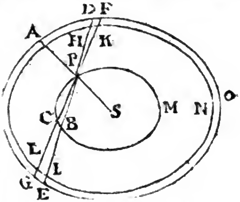
Poteſt etiam determinari vis ſphæræ, hoc calculo, ſit ut prius $PA = a$, $AB = 2b$, abſciſſa $AE = x$, $PF = v$, erit $PE^2 = a^2 + 2ax + xx$, & $EF^2 = 2bx - xx$ (ex naturâ circuli) ideoque PF^2 (vv) $= a^2 + 2ax + 2bx$, unde invenitur $x = \frac{vv - a^2}{2 \times \overline{a+b}}$ & $dx = \frac{2vdv}{2 \times \overline{a+b}} = \frac{vdv}{a+b}$ & $PE = a + x = \frac{a^2 + 2ab + vv}{2 \times \overline{a+b}}$ & $\frac{dx}{PF} = \frac{dv}{a+b}$. Itaque, cum fluxio areæ quæ exprimit vim ſphæræ ſit per Cor. 1. Prop. XC. ut $dx - \frac{PEdx}{PF}$, erit ea fluxio ut $dx - \frac{a^2 + 2ab + vv}{2 \times \overline{a+b}^2} dv$ cujus fluens eſt $x - \frac{a^2v + 2abv + \frac{1}{3}v^3}{2 \times \overline{a+b}^2} + Q$ *conſt.*, quæ evaneſcere debet ubi $x = 0$



& $v = a$ ideoque eſt $- \frac{a^3 + 2a^2b + \frac{1}{3}a^3}{2 \times \overline{a+b}^2} + Q = 0$, & $Q = \frac{\frac{4}{3}a^3 + 2a^2b}{2 \times \overline{a+b}^2}$: Vis autem totius Sphæræ obtinetur ſi fiat $x = AB$ $(2b)$ & $v = PB$ $(a+2b)$, eſtque ideo $2b + \frac{\frac{4}{3}a^3 + 2a^2b - a^3 - 4ab^2 - 4ab^2 - \frac{1}{3}a^3 - 2a^2b - 4ab^2 - \frac{8}{3}b^3}{2 \times \overline{a+b}^2}$ $= 2b - \frac{4a^2b + 8ab^2 + \frac{8}{3}b^3}{2 \times \overline{a+b}^2} = 2b \times 1 - \frac{2a^2 + 4ab + \frac{4}{3}b^2}{2 \times \overline{a+b}^2}$, & reducendo ad eumdem denominatorem $= 2b \times \frac{2a^2 + 4ab + 2b^2 - 2a^2 - 4ab - \frac{4}{3}b^2}{2 \times \overline{a+b}^2}$ $= 2b \times \frac{\frac{2}{3}b^2}{2 \times \overline{a+b}^2}$ ſive ponendo AS pro b, & PS pro $a+b$ dividendoque numeratorem & denominatorem per 2, vis tota Sphæræ eſt $\frac{2AS^3}{3PS^2}$. Q. E. I.

Digitized by Google

Corol. 3. Quod ſi corpuſculum intra ſphæroidem in axe collocetur, attractio erit ut ipſius diſtantia à centro. Id quod facilius hoc argumento colligitur, ſive particula in axe ſit, ſive in aliâ quâvis diametro datâ. Sit *AGOF* ſphærois attrahens, *S* centrum ejus, & *P* corpus attractum. Per corpus illud *P* agantur tum ſemidiameter *SPA*, tum rectæ duæ quævis *DE*, *FG* ſphæroidi hinc inde occurrentes in *D* & *E*, *F* & *G*; ſintque *PCM*, *HLN* ſuperficies ſphæroidum duarum interiorum, exteriori ſimilium & concentricarum, quarum prior tranſeat per corpus *P*, & ſecet rectas *DE* & *FG* in *B* & *C*, poſterior ſecet eaſdem rectas in *H*, *I* & *K*, *L*. Habeant autem ſphæroides omnes axem communem, & erunt rectarum partes hinc inde interceptæ *DP* & *BE*, *FP* & *CG*, *DH* & *IE*, *FK* & *LG* ſibi mutuò æquales; (y) proptérea quod rectæ *DE*, *PB* & *HI* biſecantur in eodem puncto, ut & rectæ *FG*, *PC* & *KL*. Concipe jam *DPF*, *EPG* deſignare conos oppoſitos, angulis verticalibus *DPF*, *EPG*

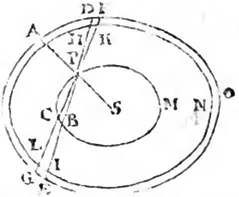


infinitè parvis deſcriptos, & lineas etiam *DH*, *EI* infinitè parvas eſſe; & conorum particulæ ſphæroidum ſuperficiebus abſciſſæ *DHKF*, *GLIE*, ob æqualitatem linearum *DH*, *EI*, (z) erunt ad invicem ut quadrata diſtantiarum ſuarum à corpuſculo

(y) *Propterea quod rectæ* D E, P B, &c. Cum enim tres ellipſes A G O, H L N, P C M ſimiles ſint, idemque centrum & axes communes ac proindè communes etiam diametros homologas habeant, patet lineas D E, H I, P B eſſe in tribus illis ellipſibus ad communem diametrum ordinatas, idemque dicendum eſſe de tribus lineis F G, K L, P C. Nam ſi per punctum A, in ellipſi A G O homologum puncto P in ellipſi P C M ducta intelligatur recta ipſi P B, ſeu D E parallela, hæc linea ordinatæ erit ad eandem ellipſeos A G O diametrum ad quam in ellipſi PCM ordinata eſt linea P B, atque adeò rectæ D E, P B ſunt ad eandem diametrum ordinatæ, idemque eodem modo de cæteris lineis oſtendi poteſt. Quare ab illâ communi diametro rectæ D E, P B, & H I, biſecantur in eodem puncto, ut & rectæ F G, P C, & K L à ſuâ communi diametro.

(z) * *Erunt ad invicem &c.* Si ex punctis D & E in lineam F G demiſſa intelligantur perpendicula infinitè parva p, & P, hæc, ob angulos D P F, E P G, æqua-

culo P, & propterea corpuſculum illud æqualiter trahent. Et pari ratione, ſi ſuperficiebus ſphæroidum innumerarum ſimilium concentricarum & axem communem habentium dividantur ſpatia DPF, $EGCB$ in particulas, hæ omnes utrinque æqualiter trahent corpus P in partes contrarias. Æquales igitur ſunt vires coni DPF & ſegmenti conici $EGCB$, & per contrarietatem ſe mutuo deſtruunt. Et par eſt ratio virium materiæ omnis extra ſphæroidem intimam $PCBM$. Trahitur igitur corpus P à ſola ſphæroide intimâ $PCBM$, & propterea (*per corol.* 3. *prop.* LXXII.) attractio ejus eſt ad vim, quâ corpus A trahitur à ſphæroide totâ $AGOD$, ut diſtantia PS ad diſtantiam AS. *Q. E. D.*



PROPOSITIO XCII. PROBLEMA XLVI.

Dato corpore attractivo, invenire rationem decrementi virium centripetarum in ejus puncta ſingula tendentium.

E corpore dato formanda eſt ſphæra vel cylindrus aliave figura regularis, cujus lex attractionis, cuivis decrementi rationi congruens (*per prop.* LXXX. LXXXI. & XCI.) (a) inveniri poteſt. Dein factis experimentis invenienda eſt vis attractionis in diverſis

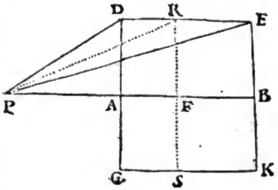
æquales, erunt ut diſtantiæ D P, E P. Sed quoniam evaneſcentibus angulis D P F, E P G, lineæ D H, F K & G L, E I, fiunt parallelæ, erit ſuperficies D H K F, ad ſuperficiem G L I E, ut rectangulum $p \times \frac{DH + FK}{2}$, ad rectangulum $P \times \frac{GL + EI}{2}$, hoc eſt, (ob $DH + FK = LG + EI$) ut p ad P, ſeu ut D P ad E P. Quarè ſi D P F, E P G conos vel pyramides in ſphæroide A G O deſignent, ſolida DHKF, GLIE erunt ut ſuperficies prædictæ in perpendicula perpendiculis p, P, ſimilia ductæ, hoc eſt, ut quadrata diſtantiarum DP, EP. Quoniam igitur vis quâ particula ſolida DHFK trahit corpuſculum P eſt ad vim quâ illud trahitur à particulâ ſolidâ GLIE, ut ſolidum $\frac{DHKF}{DP^2}$, ad ſolidum $\frac{GLIE}{EP^2}$, hoc eſt, ut $\frac{DP^2}{DP^2}$, ad $\frac{EP^2}{EP^2}$, manifeſtum eſt corpuſculum P utrinque æqualiter attrahi.

(a) *Inveniri poteſt.* Hoc eſt per propoſitiones citatas inveniri poteſt generalis expreſſio ſeu formula attractionis corpuſcu-

Digitized by Google

ſit diſtantiis, & lex attractionis in totum inde patefacta dabit rationem decrementi virium partium ſingularum, quam invenire oportuit.

PRO-



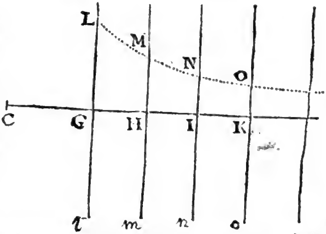
puſculi in ſphæram vel cylindrum aliamve figuram regularem, & lex attractionis corpuſculi in eandem figuram experimentis inventa conferri debet cum generali illâ formulâ, & indè habebitur æquatio cujus ope determinari poterit formulæ generalis exponens indeterminata, quæ exhibebit attractionem in ſingulas particulas materiæ.

Exemplum. In cylindrum ADEKG trahatur corpuſculum P, ſitum in ejus axe AB, ut in prop. XCI; ſupponaturque vis in ſingulas cylindri particulas tendens reciprocè ut diſtantiæ dignitas cujus index n, & dicatur $PA = a$, $PD = b$, $PB = c$, $PE = e$, $RF = g$, $PF = x$, $PR = y$, eritque $yy = xx + gg$, ideoque $y\,dy = x\,dx$. Quare fluxio vis quâ corpuſculum P in cylindrum ADRSG trahitur, erit (541) ut $\frac{dx}{x^{n-2}} - \frac{x\,dx}{y^{n-1}} = \frac{dx}{x^{n-2}} - \frac{y\,dy}{y^{n-1}} = x^{2-n}dx - y^{2-n}dy$; cujus fluens $= \frac{x^{3-n} - y^{3-n} + Q\ conſt.}{3-n}$; hæc autem evaneſcit, ubi $x = a$, & $y = b$; Quare erit $Q = b^{3-n} - a^{3-n}$, & fluens accurata $= \frac{b^{3-n} - a^{3-n} + c^{3-n} - e^{3-n}}{3-n}$, ubi $x = c$, & $y = e$. Iam verò vis quâ corpuſculum P in totum cylindrum ADEKG trahitur, experimentis inventa ſit ut $b - a + c - e$, & habebitur æquatio $b - a + c - e = \frac{b^{3-n} - a^{3-n} + c^{3-n} - e^{3-n}}{3-n}$, ex quâ determinandus eſt valor indicis generalis n. Porro poſito $n = 2$, æqualia fiunt æquationis membra, ergo vis in ſingulas cylindri particulas tendens erit reciprocè ut quadratum diſtantiæ à particulâ, quemadmodum in *cor. 1. prop.* XCI. poſitum eſt. Verùm ſi hâc ratione, varios tentando numeros, non poteſt indicis generalis n valor inveniri, ponatur $3 - n = z$, & vis corpuſculi in cylindrum experimentis reperta ſit ut quantitas q; & erit $qz = b^z - a^z + c^z - e^z$. Fiat $a^z = p$, $b^z = v$, $c^z = r$, $e^z = s$, & erit (L ſignificante Logarithmum quantitatis cui præfigitur) $L.a^z = L.p$, $L.b^z = L.v$, $L.c^z = L.r$, $L.e^z = L.s$, adeoque $z\,L.a = L.p$, & $z = \frac{L.p}{L.a} = \frac{L.v}{L.b} = \frac{L.r}{L.c} = \frac{L.s}{L.e}$. Unde $\frac{L.a \times L.v}{L.b} = L.p$, atque adeo $L.v^{\frac{L.a}{L.b}} = L.p$, proindeque $v^{\frac{L.a}{L.b}} = p$, & ſimili modo invenietur $v^{\frac{L.c}{L.b}} = r$; & $v^{\frac{L.e}{L.b}} = s$. Quare æquatio erit $\frac{q.\,L.v}{L.b} = v - v^{\frac{L.a}{L.b}} + v^{\frac{L.c}{L.b}} - v^{\frac{L.e}{L.b}}$, quæ ab exponente indeterminata libera eſt. Ut autem tollatur etiam L. v, ponatur $v = t + 1$, & (383) erit $L.v = L.t+1 = t - \frac{1}{2}tt + \frac{1}{3}t^3 - \frac{1}{4}t^4 + \frac{1}{5}t^5$ − &c. in infinit. Si itaque in æquatione modo inventâ loco v ſcribatur $t + 1$, & loco L. v ſeries $t - \frac{1}{2}t^2 + \frac{1}{3}t^3$ − &c. obtinebitur æquatio ab exponentibus & logarithmis indeterminatis libera, ex quâ per reverſionem ſerierum invenietur valor quantitatis t, & inde reperietur L. v, atque per L. v habebitur valor

PROPOSITIO XCIII. THEOREMA XLVII.

Si ſolidum ex unâ parte planum ex reliquis autem partibus infinitum, conſtet ex particulis æqualibus æqualiter attractivis, quarum vires in receſſu à ſolido decreſcunt in ratione poteſtatis cujuſvis diſtantiarum pluſquam quadraticæ, & vi ſolidi totius corpuſculum ad utramvis plani partem conſtitutum trahatur: dico quod ſolidi vis illa attractiva, in receſſu ab ejus ſuperficie planâ, decreſcet in ratione poteſtatis, cujus latus eſt diſtantia corpuſculi à plano, & index ternario minor quam index poteſtatis diſtantiarum.

Caſ. 1. Sit LGl planum quo ſolidum terminatur. Jaceat ſolidum autem ex parte plani hujus verſus I, inque plana innumera mHM, nIN, oKO, &c. ipſi GL parallela reſolvatur. Et primo collocetur corpus attractum C extra ſolidum. Agatur autem $CGHI$ planis illis innumeris perpendicularis, & decreſcant vires attractivæ punctorum ſolidi in ratione poteſtatis diſtantiarum, cujus index ſit numerus n ternario non minor. Ergo (*per*



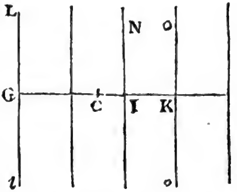
lor indicis z, & inde valor ipſius n. Nam cum ſit $z = \frac{L.\,v}{L.\,a}$, & $L.\,v = L.\,t + 1$, erit $z = \frac{L.\,t + 1}{L.\,a}$, & $n = 3 - z = 3 - \frac{L.\,t + 1}{L.\,a}$.

Si in æquatione vel quantitate exponentiali propoſita, indeterminata z in ſolis quantitatum datarum exponentibus reperiretur, hæc æquatio vel quantitas ſuperiori methodo poſſet ad aliam reduci numero terminorum finitam, in quâ nulla eſſet amplius exponens vel logarithmus *indeterminata*. Nam ſi $q = fa^{z} + gb^{2z} + hc^{4z}$ + &c., ſitque $v = a^{z}$ erit $b = fv +$
2 L.

(*per corol.* 3. *prop.* XC.) vis, quâ planum quodvis mHM trahit punctum C, (b) eſt reciprocè ut CH^{n-2}. In plano mHM capiatur longitudo HM ipſi CH^{n-2} reciproce proportionalis, & erit vis illa ut HM. Similiter in planis ſingulis lGL, nIN, oKO, &c. capiantur longitudines GL, IN, KO, &c. ipſis CG^{n-2}, CI^{n-2}, CK^{n-2}, &c. reciprocè proportionales; & vires planorum eorundem erunt ut longitudines captæ, ideoque ſumma virium ut ſumma longitudinum, hoc eſt, vis ſolidi totius ut area $GLOK$ in infinitum verſus OK producta. Sed area illa (per notas quadraturarum methodos) eſt reciprocè ut CG^{n-3}, & propterea vis ſolidi totius eſt reciprocè ut CG^{n-3}. *Q.E.D.*

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XCIII. THEOR. XLVII.

Caſ. 2. Collocetur jam corpuſculum C ex parte plani lGL intra ſolidum, & capiatur diſtantia CK æqualis diſtantiæ CG. Et ſolidi pars $LGloKO$, planis parallelis lGL, oKO terminata, corpuſculum C in medio ſitum nullam in partem trahet, contrariis oppoſitorum punctorum actionibus ſe mutuò per æqualitatem tollentibus. Proinde corpuſculum C ſolâ vi ſolidi ultra planum

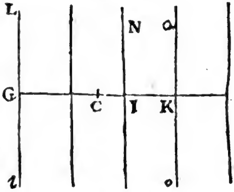


$g\sqrt{\frac{2L.b}{L.a}} + h\sqrt{\frac{4L.c}{L.a}}$ + &c. erit enim $z = \frac{L.v}{L.a}$ & $b^{2z} = b^{2\frac{L.v}{L.a}}$ & $Lb^{2z} = \frac{2L.v}{L.a}L.b = \frac{2L.b}{L.a}L.v$, unde eſt $b^{2z} = v^{\frac{L.b}{L.a}}$ & ſic de cæteris.

(b) *Eſt reciprocè* &c. Sit CH $= x$, erit MH ut $\frac{1}{x^{n-2}}$, (Hyp.) & areæ GLMH, elementum ut $\frac{dx}{x^{n-2}}$, adeóque (165) area ipſa ut Q *conſt.* $-\frac{1}{(n-3)x^{n-3}}$, quæ evaneſcit ubi $x =$ CG, Quare $Q = \frac{1}{(n-3)CG^{n-3}}$; & area GLMH, ut $\frac{1}{(n-3)CG^{n-3}} - \frac{1}{(n-3)CH^{n-3}}$. At cùm CH infinita evadit, terminus $\frac{1}{(n-3)GH^{n-3}}$ evaneſcit fitque area infinita GLOK, ut $\frac{1}{(n-3)CG^{n-3}}$, ſeu ob datam $n-3$ ut CG^{n-3}, reciprocè.

Digitized by Google

num OK ſiti trahitur. Hæc autem vis (per caſum primum) eſt reciprocè ut CK^{n-3}, hoc eſt (ob æquales CG, CK) reciprocè ut CG^{n-3}. *Q. E. D.*



Corol. 1. Hinc ſi ſolidum $LGIN$ planis duobus infinitis parallelis LG, IN utrinque terminetur; (c) innoteſcit ejus vis attractiva, ſubducendo de vi attractivâ ſolidi totius infiniti $LGKO$ vim attractivam partis ulterioris $NIKO$, in infinitum verſus KO productæ.

Corol. 2. Si ſolidi hujus infiniti pars ulterior, quando attractio ejus collata cum attractione partis citerioris nullius pene eſt momenti, rejiciatur: attractio partis illius citerioris augendo diſtantiam (d) decreſcet quàm proximè in ratione poteſtatis CG^{n-3}.

Corol. 3. Et hinc ſi corpus quodvis finitum & ex unâ parte planum trahat corpuſculum è regione medii illius plani, & diſtantia inter corpuſculum & planum collata cum dimenſionibus corporis attrahentis perexigua ſit, conſtet autem corpus attrahens ex particulis homogeneis, quarum vires attractivæ decreſcunt in ratione poteſtatis cujuſvis pluſquam quadruplicatæ diſtantiarum; vis attractiva corporis totius decreſcet quamproximè in ra-

(c) * *Innoteſcit ejus vis &c.* Ex demonſtratis attractio ſolidi totius L G K O, in infinitum verſus O producti, eſt ut $\frac{1}{CG^{n-3}}$ ſolidi verò infiniti N I C O, ut $\frac{1}{CI^{n-3}}$. Quarè attractio ſolidi L G I N, eſt ut $\frac{1}{CG^{n-3}} - \frac{1}{CI^{n-3}}$.

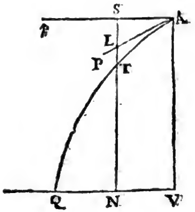
(d) * *Decreſcet quàm proximè &c.* Vis enim attractiva, ſi corpus infinitum ſit, eſt ut $\frac{1}{CG^{n-3}} - \frac{1}{CI^{n-3}}$; ſed ſi perexigua ſit diſtantia C G reſpectu C I, terminus $\frac{1}{CI^{n-3}}$, minimus erit reſpectu termini $\frac{1}{CG^{n-3}}$ & negligi poterit, ideóque attractio erit quam proximè ut CG^{n-3} reciprocè. Quod tamen verum eſſe non poteſt, ſi fuerit $n = 3$; Nam in hoc caſu $\frac{1}{CH^{n-2}} = \frac{1}{CH}$, ideoque MH erit ut $\frac{1}{CH}$ & rectangulum M H × C H datum, proindeque curva L M O hyperbola, cujus aſymptotus CK, & area illius finita L M N I G vim exponit ſolidi L G I N; area verò infinita N O K I, vim ſolidi infiniti N I K O.

ratione poteſtatis, cujus latus ſit diſtantia illa perexigua, & index ternario minor quam index poteſtatis prioris. De corpore ex particulis conſtante, quarum vires attractivæ decreſcunt in ratione poteſtatis triplicatæ diſtantiarum, aſſertio non valet; propterea quod, in hoc caſu, attractio partis illius ulterioris corporis infiniti in corollario ſecundo, ſemper eſt infinitè major quam attractio partis citerioris.

Scholium.

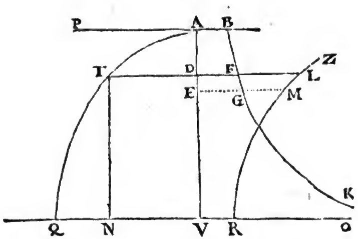
Si corpus aliquod perpendiculariter verſus planum datum trahatur, & ex datâ lege attractionis quæratur motus corporis: ſolvetur problema quærendo (*per prop.* XXXIX.) motum corporis rectà deſcendentis ad hoc planum, & (*per legum corol.* 2.) componendo motum iſtum cum uniformi motu, ([a]) ſecundum lineas eidem plano parallelas facto. Et contra, ſi quæratur lex attractionis in planum ſecundum lineas perpendiculares factæ, eâ conditione ut corpus attractum in datâ quacunque curvâ lineâ mo-

(a) 546. *Secundum lineas eidem plano parallelas &c.* Corpus A quod ad planum V Q perpendiculariter & ſecundum lineas lineæ A V parallelas trahitur, exeat de loco A juxtà directionem quamlibet A P. 1°. Si projectionis directio A P plano V Q parallela fuerit, dabitur tempus quo corpus, datâ velocitate uniformi projectionis, percurreret lineam A S, & per prop. 39. invenietur in lineâ S N lineæ A V parallelâ ſpatium S T quod corpus vi attractrice eodem tempore deſcribit, & hinc habebitur punctum T in trajectoriâ A T Q, quam corpus utroque motu, impreſſo nimirum & ex vi attractrice genito deſcribit. 2°. Si directio projectionis A P plano trahenti V Q parallela non eſt, ductâ A S plano V Q & S L rectæ A V parallelis, motus projectionis A L reſolvatur in motus A S & S L, & datis velocitatibus uniformibus A S & S L, dabuntur tum tempus quo percurritur A S, tum ſpatium S T quod corpus hoc eodem tempore deſcribit ex vi attractrice & motu impreſſo S L ſimul (*per cor.* 3. *prop.* 39.) unde habebitur punctum T trajectoriæ A T Q cujus omnia puncta eodem modo poſſunt inveniri.



moveatur, (b) ſolvetur problema operando ad exemplum problematis tertii.

Ope-



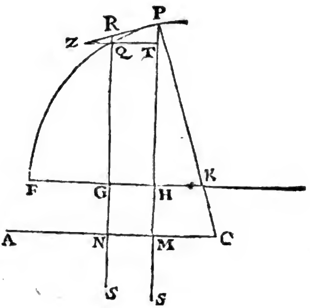
Exemplum. Exeat corpus de loco A ſecundùm directionem A P plano trahenti V Q parallelam, & ductâ D T eidem plano parallelâ, ſit vis trahens in totâ lineâ D T, ut D V cubus reciprocè. De loco D, erigatur ſemper D F perpendicularis ad A V & vi trahenti in lineâ D T proportionalis, ſitque BFG linea curva quam punctum G perpetuò tangit. In DF capiatur D L lateri quadrato areæ ABFD reciprocè proportionalis, & punctum L ſit ſemper in lineâ curvâ Z L K, prorsùs ut in prop. 39. Jam dicatur A V $= a$, D V $= x$, T D $= y$, erit area A B F D ut $\frac{aa - xx}{xx}$ (430) & proindè D L, ut $\frac{x}{\sqrt{aa - xx}}$ adeóque elementum D L M E, ut $\frac{x\,dx}{\sqrt{aa - xx}}$, & area V D L R, ut hujus elementi fluens $Q - \sqrt{aa - xx}$ (165. 166), evaneſcit autem area V D L R ubi $x = o$. Quare $Q = a$, & area V D L R, ut $a - \sqrt{aa - xx}$. Hinc poſitâ $x = a$, erit area V A B Z R, ut a, & area D A B Z L, ut $\sqrt{aa - xx}$. Porrò ſi punctum T eſt in trajectoriâ A T Q erit D T ſeu y proportionalis tempori quo uniformiter deſcribitur D T, & quo motu accelerato percurritur A D ſeu (*per prop.* 39.) erit y, ut $\sqrt{aa - xx}$, adeóque yy ut $aa - xx$. Undè patet trajectoriam A T Q eſſe ellipſim cujus centrum V, ſemiaxis unus V A, alter conjugatus V Q. Iiſdem poſitis & vi ad planum V Q trahente in vim repellentem mutatâ corpus deſcribet hyperbolam cujus centrum V ſemiaxis V A vertex A.

(b) 547. *Solvetur problema &c.* Moveatur corpus P in curvâ P Q F vi perpendiculariter tendente ad planum F K, ſint P & Q puncta infinitè propinqua, P Z tangens in P, P C radius circuli curvam P Q F oſculantis in P; P H, Q G perpendicula ex punctis P, Q in planum F K demiſſa, C A recta lineæ F K parallela & ſecans perpendicula P H, Q G producta in M & N; producatur G Q, ut tangenti P Z occurrat in R, & per Q agatur recta Z Q T plano F K parallela, ac tangenti occurrens in Z rectæ verò P H in T. Jam ob ſimilia triangula CPM, PZT & RZQ, eſt $CP^2 : PM^2 = PR^2 : QT^2$, & ex naturâ circuli oſculatoris $PR^2 = QR \times \overline{RN + QN}$ (*per prop.* 36. *lib.* 3. *Elem.*) ſive coeuntibus punctis P & Q, $PR^2 = QR \times 2\,PM$.

Er-

Operationes autem contrahi ſolent reſolvendo ordinatim applicatas in ſeries convergentes. Ut ſi ad baſem A in angulo quovis dato ordinatim applicetur longitudo B, quæ ſit ut baſis dignitas quælibet $A^{\frac{m}{n}}$; & quæratur vis quâ corpus, ſecundum poſitionem ordinatim applicatæ, vel in baſem attractum vel à baſi fugatum, moveri poſſit in curvâ lineâ, quam ordinatim applicata termino ſuo ſuperiore ſemper attingit: Suppono baſem augeri parte quàm minimâ O, & ordinatim applicatam

A +



Ergò $CP^2, PM^2 = QR \times 2PM : QT^2$, ideóque $\frac{QT^2}{QR} = \frac{2PM^3}{CP^2}$, conſideretur vis centripeta ut tendens ad centrum S infinitè diſtans, & erit S P quantitas conſtans, ac $\frac{QT^2 \times SP^2}{QR} = \frac{2PM^3 \times SP^2}{CP^2}$. Eſt igitur (*per cor.* 1. *&* 5. *prop.* 6.) vis centripeta reciprocè ut $\frac{2PM^3 \times SP^2}{CP^2}$, hoc eſt, ob conſtantem quantitatem $2SP^2$, reciprocè ut $\frac{PM^3}{CP^2}$, ſeu in ratione compoſitâ ex duplicatâ ratione radii oſculatoris C P directè & triplicatâ perpendiculi P M inversè. Porrò datâ curvâ P Q F invenietur in ſingulis locis radius oſculi C P (214) & punctum K ubi plano occurrit ac proindè invenietur P M, per proportionem: $PK : PH = PC : PM$, vel etiam per proportionem PR vel $PQ : QT = PC : PM$. Quarè dabitur lex vis centripetæ.

Digitized by Google

$\overline{A + O}|^{\frac{m}{n}}$ reſolvo (†) in ſeriem infinitam $A^{\frac{m}{n}} + \frac{m}{n} O A^{\frac{m-n}{n}} + \frac{mm - mn}{2nn} O O A^{\frac{m-2n}{n}}$ &c. atque hujus termino in quo O

(†) 548. *Reſolvo in ſeriem infinitam &c.* Ut hæc liqueant ſequentia de dignitatum formulis ſunt memoriæ revocanda.

Lemma. Binomii $a + b$, dignitas $\overline{a+b}^n$ cujus index n, eſt $a^n + \frac{n}{1} a^{n-1} b^1 + \frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2} a^{n-2} b^2 + \frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3} a^{n-3} b^3 + \frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2} \times \overline{n-3}}{1 \times 2 \times 3 \times 4} a^{n-4} b^4$ + &c. Satis patet ex potentiarum formatione. Si enim binomium $a + b$, ad 2^{am}. 3^{am}. 4^{am}. &c. dignitates evehatur, in ſingulis dignitatis cujuſque terminis, index litteræ a unitate perpetuò decreſcit, dum contrà index litteræ b unitate creſcit, & coefficientes ſeu unciæ ſingulorum terminorum progrediuntur ut numeri $\frac{n}{1}$, $\frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2}$, $\frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3}$, $\frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2} \times \overline{n-3}}{1 \times 2 \times 3 \times 4}$. &c.

549. Cor. 1. Si ponatur $a = P$, & $Q = \frac{a}{b}$, adeóque $a^n = P^n$, $\frac{b^2}{a^2} = Q^2$, $\frac{b^3}{a^3} = Q^3$, $\frac{b^4}{a^4} = Q^4$, his valoribus in lemmatis formulâ ſubſtitutis erit $\overline{a+b}^n = P^n + \frac{n}{1} P^n Q + \frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2} P^n Q^2 + \frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3} P^n Q^3$ + &c. & ſi rursùs ponatur $P^n = A$; $\frac{n}{1} P^n Q = B$; $\frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2} P^n Q^2 = C$; $\frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3} P^n Q^3 = D$, & ità porrò, erit $\overline{a+b}^n = \overline{P + PQ}^n = P^n + \frac{n}{1} AQ + \frac{n-1}{2} BQ + \frac{n-2}{3} CQ + \frac{n-3}{4} DQ +$ &c.

550. Cor. 2. Iiſdem formulis uti poſſumus pro polynomio quovis ad datam dignitatem evehendo, ſi pars una polynomii litteræ a binomii ponatur æqualis, cæteræ verò partes omnes ſupponantur æquales litteræ b. *Exempli causâ.* Sit trinomium $d + e + f$ ad tertiam dignitatem elevandum, pone $n = 3$, $d = a$, $e + f = b$, & formula $a^n + \frac{n}{1} a^{n-1} b^1 + \frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2} a^{n-2} b^2 + \frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3} a^{n-3} b^3$, mutabitur in ſeriem $d^3 + 3d^2(e+f) + 3d(e+f)^2 + (e+f)^3$; cùm enim perventum eſt ad coefficientem in quâ eſt $n - 3$, abrumpitur ſeries ob $n - 3 = 0$. Porrò per eandem formulam generalem $(e+f)^2 = ee + 2ef + ff$, & $(e+f)^3 = e^3 + 3e^2f + 3ef^2 + f^3$. Quarè tandem $(d+e+f)^3 = d^3 + 3d^2e + 3d^2f + 3de^2 + 6def + 3dff + e^3 + 3e^2f + 3ef^2 + f^3$.

Ita etiam formulam pro dignitate infinitinomii poſſumus obtinere, ſit enim ſeries $A + BZ + CZ^2 + DZ^3 + EZ^4$ &c. ad dignitatem p evehenda ſub ducto calculo invenietur.

$$A^p + pA^{p-1}BZ + pA^{p-1}CZ^2 \qquad + pA^{p-1}DZ^3$$
$$+ p \times \frac{p-1}{2} A^{p-2}B^2Z^2 + p \times \frac{p-1}{2} A^{p-2} \times 2BCZ$$
$$+ p \times \frac{p-1}{2} \times \frac{p-2}{3} A^{p-3}$$

551. Cor. 3. Si ex binomio $a + b$, extrahenda ſit radix cujus index $\frac{m}{p}$, loco n, in formulâ generali ſcribatur $\frac{m}{p}$, & erit $\overline{a+b}^{\frac{m}{p}} = a^{\frac{m}{p}} + \frac{m}{p} a^{\frac{m-p}{p}} b^1 + \frac{m \times \overline{m-p}}{1 \times 2 \times p^2} a^{\frac{m-2p}{p}} b^2 + \frac{m \times \overline{m-p} \times \overline{m-2p}}{1 \times 2 \times 3 p^3} a^{\frac{m-3p}{p}} b^3 + \frac{m \times \overline{m-p} \times \overline{m-2p} \times \overline{m-3p}}{1 \times 2 \times 3 \times 4 p^4} a^{\frac{m-4p}{p}} b^4$ + &c. vel etiam erit $\overline{a+b}^{\frac{m}{p}} = P$

Digitized by Google

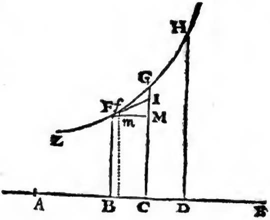
O duarum eſt dimenſionum, id eſt, termino $\frac{mm-mm}{2nn}OOA^{\frac{m-2n}{n}}$

$= \overline{P+PQ}^{\frac{m}{p}} = P^{\frac{m}{p}} + \frac{m}{p} AQ + \frac{m-p}{2p} BQ + \frac{m-2p}{3p} CQ + \frac{m-3p}{4p} DQ$ + &c.

Nam ſit Radix quæſita $\overline{a+b}^{\frac{m}{p}}$ æqualis ſeriei infinitæ $A + BZ + CZ^2 + DZ^3$ &c. erit $\overline{a+b}^{m}$ æqualis huic ſeriei ad dignitatem p evectæ, ſumatur ergo ſeries potentiæ $\overline{a+b}^{m}$ quæ erit $a^m + m a^{m-1} b + m \times \frac{m-1}{2} a^{m-2} b^2 + m \times \frac{m-1}{2} \times \frac{m-2}{3} a^{m-3} b^3$ & conferantur cum terminis dignitatis infinitinomii $A+BZ+CZ^2+DZ^3$ &c. ad dignitatem p evecti, (nº. 550) invenieturque $A^p = a^m$; $pA^{p-1}BZ = ma^{m-1}b$; $pA^{p-1}CZ^2 + p \times \frac{p-1}{2} A^{p-2}B^2Z^2 = m \times \frac{m-1}{2} a^{m-2}b^2$; $pA^{p-1}DZ^3 + p \times \frac{p-1}{2} A^{p-2} \times 2BCZ^3 + p \times \frac{p-1}{2} \times \frac{p-2}{3} A^{p-3}B^3Z^3 = m \times \frac{m-1}{2} \times \frac{m-2}{3} a^{m-3}b^3$ &c.

Unde invenietur $A = a^{\frac{m}{p}}$, $BZ = \frac{m}{p} \times \frac{a^{m-1}}{a^{m-\frac{m}{p}}} b = \frac{m}{p} a^{\frac{m-p}{p}} b$; $CZ^2 = \frac{m \times \overline{m-p}}{1 \times 2 \times p^2} a^{\frac{m-2p}{p}} b^2$ &c.

552. *Lemma.* Si in rectâ A E poſitione datâ, ad quam curva Z F H refertur, capiatur abſciſſa quævis A B, ſitque ordinata correſpondens F B æqualis dignitati abſciſſæ AB^q, in datam quantitatem 1 ductæ, & deindè capiantur intervalla æqualia B C, C D, & agantur ordinatæ C G, D H, ac per punctum F ducatur tangens F I ordinatæ C G occurrens in *I*, & recta F M parallela lineæ A E, eidem ordinatæ occurrens in M, ac tandem ordinata C G, ſeu $\overline{AB+BC}^{q}$, elevetur ad dignitatem cujus eſt index q atque ità in ſeriem infinitam convergentem reſolvatur, hujus ſeriei primus terminus erit ſemper



æqualis ordinatæ F B, inſiſtenti ad initium quantitatis conſtantis B C; ſecundus terminus æqualis erit differentiæ inter F B & C I, id eſt, lineæ M I, & tertius terminus unà cum ſequentibus in infinitum æquabitur lineæ C I quæ jacet inter tangentem & curvam.... *Dem.* Sit A B $= x$, F B $= y$, data B C $= O$, ducta intelligatur ordinata f b, alteri F B infinitè propinqua quæ lineam F M ſecet in m, & punctis F, f, coeuntibus erit F m $= dx$, f m $= dy$, ac triangula F m f, F M I ſimilia, ideoque $dx : dy = O :$ MI, ſed quoniam $y = x^q$ (*ex hyp.*) & proindè $dy = qx^{q-1}dx$, eſt $dx : dy = 1 : qx^{q-1}$, ergò MI $= qx^{q-1} \times O$ & C I $=$ F B $+$ M I $= x^q + qx^{q-1} \times O$. Prætereà (*ex hyp.*) eſt G C $= \overline{x+O}^{q} = x^q + qx^{q-1}O + \frac{q \times \overline{q-1}}{1 \times 2} x^{q-2}O^2 + \frac{q \times \overline{q-1} \times \overline{q-2}}{1 \times 2 \times 3} x^{q-3}O^3$ + &c. in infinitum (548). Quarè erit G I $=$ G C $-$ C I $= \frac{q \times \overline{q-1}}{1 \times 2} x^{q-2}O^2 + \frac{q \times \overline{q-1} \times \overline{q-2}}{1 \times 2 \times 3}$

$\overline{A + O}|^{\frac{m}{n}}$ reſolvo (†) in ſeriem infinitam $A^{\frac{m}{n}} + \frac{m}{n} O A^{\frac{m-n}{n}} + \frac{mm - mn}{2nn} O O A^{\frac{m-2n}{n}}$ &c. atque hujus termino in quo O

(†) 548. *Reſolvo in ſeriem infinitam &c.* Ut hæc liqueant ſequentia de dignitatum formulis ſunt memoriæ revocanda.

Lemma. Binomii $a + b$, dignitas $\overline{a+b}^n$ cujus index n, eſt $a^n + \frac{n}{1} a^{n-1} b^1 + \frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2} a^{n-2} b^2 + \frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3} a^{n-3} b^3 + \frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2} \times \overline{n-3}}{1 \times 2 \times 3 \times 4} a^{n-4} b^4$ + &c. Satis patet ex potentiarum formatione. Si enim binomium $a + b$, ad 2am. 3am. 4am. &c. dignitates evehatur, in ſingulis dignitatis cujuſque terminis, index litteræ a unitate perpetuò decreſcit, dum contrà index litteræ b unitate creſcit, & coefficientes ſeu unciæ ſingulorum terminorum progrediuntur ut numeri $\frac{n}{1}$, $\frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2}$, $\frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3}$, $\frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2} \times \overline{n-3}}{1 \times 2 \times 3 \times 4}$. &c.

549. *Cor.* 1. Si ponatur $a = P$, & $Q = \frac{a}{b}$, adeóque $a^n = P^n$, $\frac{b^2}{a^2} = Q^2$, $\frac{b^3}{a^3} = Q^3$, $\frac{b^4}{a^4} = Q^4$, his valoribus in lemmatis formulâ ſubſtitutis erit $\overline{a+b}^n = P^n + \frac{n}{1} P^n Q + \frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2} P^n Q^2 + \frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3} P^n Q^3$ + &c. & ſi rursùs ponatur $P^n = A$; $\frac{n}{1} P^n Q = B$; $\frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2} P^n Q^2 = C$; $\frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3} P^n Q^3 = D$, & ità porrò, erit $\overline{a+b}^n = \overline{P + PQ}^n = P^n + \frac{n}{1} A Q + \frac{n-1}{2} B Q + \frac{n-2}{3} C Q + \frac{n-3}{4} D Q$ + &c.

550. *Cor.* 2. Iiſdem formulis uti poſſumus pro polynomio quovis ad datam dignitatem evehendo, ſi pars una polynomii litteræ a binomii ponatur æqualis, cæteræ verò partes omnes ſupponantur æquales litteræ b. *Exempli causâ.* Sit trinomium $d + e + f$ ad tertiam dignitatem elevandum, pone $n = 3$, $d = a$, $e + f = b$, & formula $a^n + \frac{n}{1} a^{n-1} b^1 + \frac{n \times \overline{n-1}}{1 \times 2} a^{n-2} b^2 + \frac{n \times \overline{n-1} \times \overline{n-2}}{1 \times 2 \times 3} a^{n-3} b^3$, mutabitur in ſeriem $d^3 + 3d^2(e+f) + 3d(e+f)^2 + (e+f)^3$; cùm enim perventum eſt ad coefficientem in quâ eſt $n - 3$, abrumpitur ſeries ob $n - 3 = 0$. Porrò per eandem formulam generalem $(e+f)^2 = ee + 2ef + ff$, & $(e+f)^3 = e^3 + 3e^2 f + 3ef^2 + f^3$. Quarè tandem $(d+e+f)^3 = d^3 + 3d^2 e + 3d^2 f + 3de^2 + 6def + 3dff + e^3 + 3e^2 f + 3ef^2 + f^3$.

Ita etiam formulam pro dignitate infinitinomii poſſumus obtinere, ſit enim ſeries $A + BZ + CZ^2 + DZ^3 + EZ^4$ &c. ad dignitatem p evehenda ſub ducto calculo invenietur.

$$A^p + pA^{p-1}BZ + pA^{p-1}CZ^2 + pA^{p-1}DZ^3$$
$$+ p \times \frac{p-1}{2} A^{p-2} B^2 Z^2 + p \times \frac{p-1}{2} A^{p-2} \times 2BCZ^3$$
$$+ p \times \frac{p-1}{2} \times \frac{p-2}{3} A^{p-3} B^3 Z^3$$

551. *Cor.* 3. Si ex binomio $a + b$, extrahenda ſit radix cujus index $\frac{m}{p}$, loco n, in formulâ generali ſcribatur $\frac{m}{p}$, & erit $\overline{a+b}^{\frac{m}{p}} = a^{\frac{m}{p}} + \frac{m}{p} a^{\frac{m-p}{p}} b^1 + \frac{m \times \overline{m-p}}{1 \times 2 \times p^2} a^{\frac{m-2p}{p}} b^2 + \frac{m \times \overline{m-p} \times \overline{m-2p}}{1 \times 2 \times 3 p^3} a^{\frac{m-3p}{p}} b^3 + \frac{m \times \overline{m-p} \times \overline{m-2p} \times \overline{m-3p}}{1 \times 2 \times 3 \times 4 p^4} a^{\frac{m-4p}{p}} b^4$ + &c. vel etiam erit $\overline{a+b}^{\frac{m}{p}} = P$

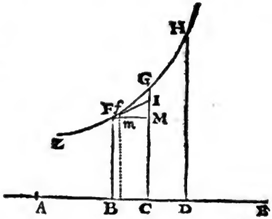
O duarum eſt dimenſionum, id eſt, termino $\frac{mm - mm}{2nn} OOA^{\frac{m-2n}{n}}$

$$= \overline{P + PQ}^{\frac{m}{p}} = P^{\frac{m}{p}} + \frac{m}{p} AQ + \frac{m-p}{2p} BQ + \frac{m-2p}{3p} CQ + \frac{m-3p}{4p} DQ + \&c.$$

Nam ſit Radix quæſita $\overline{a+b}^{\frac{m}{p}}$ æqualis ſeriei infinitæ $A + BZ + CZ^2 + DZ^3$ &c. erit $\overline{a+b}^m$ æqualis huic ſeriei ad dignitatem p evectæ, ſumatur ergo ſeries potentiæ $\overline{a+b}^m$ quæ erit $a^m + m a^{m-1} b + m \times \frac{m-1}{2} a^{m-2} b^2 + m \times \frac{m-1}{2} \times \frac{m-2}{3} a^{m-3} b^3$ & conferantur cum terminis dignitatis infinitinomii $A + BZ + CZ^2 + DZ^3$ &c. ad dignitatem p evecti, (nº. 550) invenieturque $A^p = a^m$; $p A^{p-1} BZ = m a^{m-1} b$; $p A^{p-1} CZ^2 + p \times \frac{p-1}{2} A^{p-2} B^2 Z^2 = m \times \frac{m-1}{2} a^{m-2} b^2$; $p A^{p-1} DZ^3 + p \times \frac{p-1}{2} A^{p-2} \times 2BCZ^3 + p \times \frac{p-1}{2} \times \frac{p-2}{3} A^{p-3} B^3 Z^3 = m \times \frac{m-1}{2} \times \frac{m-2}{3} a^{m-3} b^3$ &c.

Unde invenietur $A = a^{\frac{m}{p}}$, $BZ = \frac{m}{p} \times \frac{a^{m-1}}{a^{m - \frac{m}{p}}} b = \frac{m}{p} a^{\frac{m-p}{p}} b$; $CZ^2 = \frac{m \times m-p}{1 \times 2 \times p^2} a^{\frac{m-2p}{p}} b^2$ &c.

552. *Lemma.* Si in rectâ A E poſitione datâ, ad quam curva Z F H refertur, capiatur abſciſſa quævis A B, ſitque ordinata correſpondens F B æqualis dignitati abſciſſæ AB^q, in datam quantitatem 1 ductæ, & deindè capiantur intervalla æqualia B C, C D, & agantur ordinatæ C G, D H, ac per punctum F ducatur tangens F I ordinatæ C G occurrens in I, & recta F M parallela lineæ A E, eidem ordinatæ occurrens in M, ac tandem ordinata C G, ſeu $\overline{AB + BC}^q$, elevetur ad dignitatem cujus eſt index q atque ità in ſeriem infinitam convergentem reſolvatur, hujus ſeriei primus terminus erit ſemper



æqualis ordinatæ F B, inſiſtenti ad initium quantitatis conſtantis B C; ſecundus terminus æqualis erit differentiæ inter F B & C I, id eſt, lineæ M I, & tertius terminus unà cum ſequentibus in infinitum æquabitur lineæ C I quæ jacet inter tangentem & curvam. . . . *Dem.* Sit A B $= x$, F B $= y$, data B C $= O$, ducta intelligatur ordinata f b, alteri F B infinitè propinqua quæ lineam F M ſecet in m, & punctis F, f, coeuntibus erit F m $= dx$, f m $= dy$, ac triangula F m f, F M I ſimilia, ideoque $dx : dy = O :$ MI, ſed quoniam $y = x^q$ (*ex hyp.*) & proindè $dy = q x^{q-1} dx$, eſt $dx : dy = 1 : q x^{q-1}$, ergò MI $= q x^{q-1} \times O$ & C I = F B + M I $= x^q + q x^{q-1} \times O$. Prætereà (*ex hyp.*) eſt G C $= \overline{x + O}^q = x^q + q x^{q-1} O + \frac{q \times q-1}{1 \times 2} x^{q-2} O^2 + \frac{q \times q-1 \times q-2}{1 \times 2 \times 3} x^{q-3} O^3 +$ &c. in infinitum (548). Quarè erit G I = G C − C I $= \frac{q \times q-1}{1 \times 2} x^{q-2} O^2 + \frac{q \times q-1 \times q-2}{1 \times 2 \times 3}$

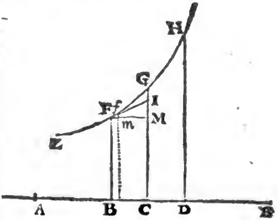
Digitized by Google

$x^{q-3}O^{3}$ + &c. in infinitum. Ergò ſeriei in quam reſolvitur $\overline{x+O}^{q}$, terminus primus x^{q}, æqualis eſt ordinatæ F B, ſecundus terminus $qx^{q-1}O$, æqualis differentiæ inter F B & C I, & tertius terminus unà cum ſequentibus in infinitum æqualis lineæ G I. Eadem eſt demonſtratio, ſi curva Z F H concavitatem lineæ A E obvertat. Q. E. D.

553. *Cor.* 1. Si quantitas O, ſeu B C, in infinitum minuatur ut fiat $= dx$, termini omnes in ſerie ſubſequentes ſunt infinitè minores quovis termino antecedente, quod quantitatis O index in ſingulis terminis unitate creſcat, ideóque termini illi ſubſequentes negligi poſſunt, & proindè in hac hypotheſi M I $= dy =$ M G, G I $= \frac{q\times\overline{q-1}}{1\times 2}x^{q-2}O^{2} = \frac{q\times\overline{q-1}}{1\times 2}x^{q-2}dx^{2} = \frac{1}{2}ddy$. Nam cùm ſit $dy = qx^{q-1}dx$ & dx, conſtans, erit ſumptis fluxionibus, $ddy = q\times\overline{q-1}\,x^{q-2}dx^{2}$.

554. *Cor.* 2. In eâdem Hypotheſi erit $dddy$ ut quartus ſeriei terminus, $ddddy$, ut quintus, & ità porro in infinitum. Nam quia eſt $ddy = q\times\overline{q-1}\,x^{q-2}dx^{2}$, erit $dddy = q\times\overline{q-1}\times\overline{q-2}\,x^{q-3}dx^{3}$, & $ddddy = q\times\overline{q-1}\times\overline{q-2}\times\overline{q-3}\,x^{q-4}dx^{4}$, & ità deinceps. Quartus autem ſeriei terminus poſitâ $O = dx$, eſt $\frac{q\times\overline{q-1}\times\overline{q-2}}{1\times 2\times 3}x^{q-3}dx^{3}$. Quintus $\frac{q\times\overline{q-1}\times\overline{q-2}\times\overline{q-3}}{1\times 2\times 3\times 4}x^{q-4}dx^{4}$; Ergò ob datos numeros $1\times2\times3$ & $1\times2\times3\times4$. &c. patet corollarium.

555. *Cor.* 3. Eadem omnia vera ſunt, ſi fuerit ordinata B F ſeu y æqualis ſeriei cuivis potentiarum quarumlibet abſciſſæ A B in datas quantitates ductarum, hoc eſt $y = ex^{n} \mp fx^{m} \mp gx^{p} +$ *&c.* Eadem enim demonſtratio. Obſervandum tamen eſt in hoc caſu primum ſeriei terminum dici in quo quantitas O, ſeu B C, non extat, ſecundum terminum in quo quantitas illa eſt unius dimenſionis, tertium in quo extat duarum dimenſionum & ſic in infinitum, licet in ſingulis terminis ità definitis plures contineantur quantitates ſignis + vel − conjunctæ. *Exempli causâ.* Poſitâ $y = ex^{n} + fx^{m} =$ B F, erit G C $= e(x+O)^{n} + f(x+O)^{m} = ex^{n} + fx^{m} + \frac{m}{1}ex^{n-1}O + \frac{n}{1}ex^{m-1}O +$ &c. in infinitum. Primus ſeriei terminus eſt $ex^{n} + fx^{m}$, ſecundus $\frac{n}{1}ex^{n-1}\times O + \frac{m}{1}ex^{m-1}\times O$ & ità de cæteris.



556. *Cor.* 4. Hinc ſequitur eadem omnia valere, ſi fuerit ordinata B F ſeu y æqualis cuilibet functioni ipſius abſciſſæ A B, ſeu x, hoc eſt $y = Q$, & Q quantitas ex abſciſſâ x, ipſiuſque potentiis ac aliis quantitatibus datis quomodolibet compoſitâ. Nam quantitas illa Q poterit ſemper vel (*per Lemma* 548.) ejuſque corollaria vel per diviſionem in ſeriem aliquam reſolvi, cujus ſinguli termini erunt vel ipſius abſciſſæ x potentiæ in quantitates datas ductæ, vel quantitates omnino datæ, omnis verò quantitas data $e = ex^{0}$. Quarè æquatio $y = Q$, ſemper reduci poterit in formam æquationis cor. 3. (555.) $y = ex^{n} \mp fx^{m} \mp gx^{p} \mp$ *&c. Exempli causâ*: Sit $y = g + \frac{ee}{b+x} + (ff+xx)^{\frac{1}{2}}$.

Peractâ diviſione in infinitum, erit $\frac{ee}{b+x} = \frac{ee}{b} - \frac{eex}{b^{2}} + \frac{eex^{2}}{b^{3}} - \frac{eex^{3}}{b^{4}} + \frac{eex^{4}}{b^{5}}$ &c. in infinitum; & $\overline{ff+xx}^{\frac{1}{2}} = f + \frac{x^{2}}{2f} - \frac{x^{4}}{8f^{3}} + \frac{x^{6}}{16f^{5}}$ &c. in infinitum. Nam in hoc caſu erit in formulâ $P^{\frac{m}{p}} + \frac{m}{p}AQ + \frac{m-p}{2p}BQ$ &c. (551.)

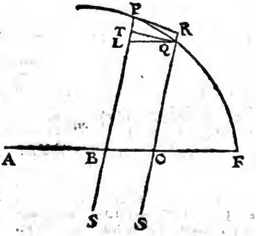
$m =$

vim proportionalem eſſe ſuppono. (c) Eſt igitur vis quæſita ut $\frac{mm-nn}{nn} A^{\frac{m-2n}{n}}$, vel quod perinde eſt, ut $\frac{mm-nn}{nn} B^{\frac{m-2n}{m}}$. Ut ſi ordinatim applicata parabolam attingat, exiſtente $m=2$, & $n=1$: fiet vis ut data $2B^{o}$, ideoque dabitur. Datâ igitur vi corpus movebitur in parabolâ, quemadmodum

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XCIII. THEOR. XLVII.

$m=1$; p 2, $P=ff$, $Q=\frac{x^2}{ff} A = P^{\frac{m}{p}} = ff^{\frac{1}{2}} = f$ $B=\frac{m}{p}\times AQ=\frac{x^2}{2f}$, & ſic deinceps, ergò erit $y=g+\frac{ee}{b}+f-\frac{eex}{b}+\left(\frac{ee}{b^3}+\frac{1}{2f}\right)x^2-\frac{eex^3}{b^4}+\left(\frac{ee}{b^5}-\frac{1}{8f^3}\right)x^4$, &c. in infinitum.

(c) 557. * *Eſt igitur vis quæſita &c.* Moveatur corpus in curvâ P Q F, vi tendente ad planum ſeu baſim A F, ſecundum lineas P B, Q C cum baſi A F angulum datum conſtituentes. Producatur ordinata C Q ut tangenti per P ductæ occurrat in R, & ex puncto curvæ Q ad ordinatam P B agantur Q L parallela A F, & Q T ad P B perpendicularis. Jam ſi vis centripeta fingatur ad punctum S infinitè diſtans tendere, coeuntibus punctis P & Q vis illa in puncto P erit (*per cor. 2. prop. 6.*) directè ut $\frac{QR}{SP^2\times QT}$, hoc eſt, ob conſtantem S P, ut $\frac{QR}{QT}$. Porrò ob angulum Q L T datum, & angulum Q T L rectum, datur ſpecie triangulum L Q T, & ideò datâ Q L, datur etiam Q T; ergò datâ B C ſeu Q L, vis erit ut Q R. Sed ſi abſciſſa A B dicatur $=A$, ordinata B P $=B$, & B C $=O$; cùm ſit (*ex Hyp.*) B, ut $A^{\frac{m}{n}}$, erit ordinata C Q, ut $\overline{A+O}^{\frac{m}{n}}$ & (553), Q R, ut tertius terminus ſeriei in quam reſolvitur $\overline{A+O}^{\frac{m}{n}}$, hoc eſt, (550) ut $\frac{m\times \overline{m-n}}{1\times 2\times n^2} A^{\frac{m-2n}{n}}\times OO$ $=\frac{mm-mn}{2n^2} A^{\frac{m-2n}{n}}\times OO$, ſeu ut $\frac{mm-mn}{n^2}\times A^{\frac{m-2n}{n}}$, ob datam quantitatem



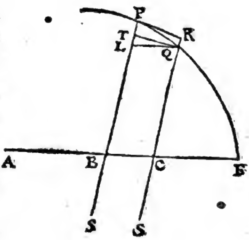
$\frac{OO}{2}$. Eſt igitur vis quæſita ut $\frac{mm-mn}{1\times 2\times n^2}\times A^{\frac{m-2n}{n}}$ vel ut $\frac{mm-mn}{nn} B^{\frac{m-2n}{m}}$; quia cùm ſit B, ut $A^{\frac{m}{n}}$, erit $B^{\frac{n}{m}}$ ut A, & B

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XCIII. THEOR. XLVII.

modum *Galilæus* demonſtravit. Quod ſi ordinatim applicata hyperbolam attingat, exiſtente $m = 0 - 1$, & $n = 1$; fiet vis ut $2 A^{-3}$ ſeu $2 B^3$: ideoque vi, quæ ſit ut cubus ordinatim applicatæ, corpus movebitur in hyperbolâ. Sed miſſis hujuſmodi propoſitionibus, pergo ad alias quaſdam de motu, quas nondum attigi.

SEC-

$B^{\frac{n}{m}\times\frac{m-2n}{n}}$, ſeu $B^{\frac{m-2n}{m}}$, ut $A^{\frac{m-2n}{n}}$. Itaque ſi ponatur $m = 2$, $n = 1$, erit B, ut A^2, & curva P F parabola, & $\frac{mm-mn}{nn} B^{\frac{m-2n}{m}} = 2 B^0$, adeóque vis ut data $2 B^0 = 2$. Quod ſi ponatur $m = - 1$, & $n = 1$, erit B, ut $\frac{1}{A}$ hoc eſt B × A rectangulum datum, & proindè curva P F hyperbola cujus aſymptotus A F, & centrum A; & $\frac{mm-mn}{nn} A^{\frac{m-2n}{n}} = 2 A^{-3} = \frac{2}{A^3}$ $2 B^3$, & ideò vis ut cubus ordinatæ B. Sed quoniam hyperbola convexitatem obvertis aſymptoto A F, vi illâ corpus à baſi A F repelletur.



Si curva P Q F, eſt ellipſis cujus centrum A, ſemidiameter $A F = C$, erit $P B^2$ ſeu B^2, ut rectangulum $\overline{AF + AB} \times BF = \overline{C + A} \times \overline{C - A} = CC - AA$, & ponendo $B C = O$, erit QC^2, ut $CC - AA - 2AO - OO$, fiat $CC - AA = DD$, erit QC^2, ut $DD - 2AO - OO$, & radice per formulam generalem extractâ (550. 551) erit QC, ut $D - \frac{AO}{D} - \frac{OO}{2D} - \frac{AAOO}{2D^3} - \frac{AO^3}{2D^3} - \frac{A^3O^3}{2D^5}$, &c. tertius ſeriei terminus eſt $\frac{OO}{2D} + \frac{AAOO}{2D^3} = \frac{\overline{DD + AA} \times OO}{2D^3} = \frac{CCOO}{2D^3}$, erit igitur Q R (552. 556) ſeu vis ut $\frac{CC}{2D^3}$, hoc eſt, ob datam quantitatem $\frac{CC}{2}$, ut $\frac{1}{D^3}$; ac proindè quoniam BB eſt ut $CC - AA$ ſeu DD, vis erit ut $\frac{1}{B^3}$, hoc eſt, ut cubus ordinatim applicatæ reciprocè, quod convenit cum ſolutione Problematis III. Eodem modo demonſtratur vim à plano A F repellentem decreſcere in ratione triplicatâ ordinatim applicatæ P B ſi corpus moveatur in hyperbolâ, cujus diameter una ſit in plano A F, altera conjugata in lineâ parallelâ ordinatis P B, Q C, & convexitas plano A F obverſa.

Digitized by Google

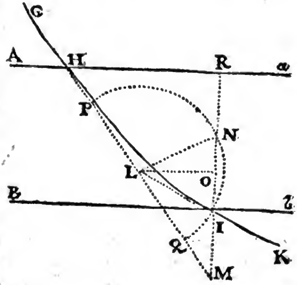
SECTIO XIV.

De motu corporum minimorum, quæ viribus centripetis ad ſingulas magni alicujus corporis partes tendentibus agitantur.

PROPOSITIO XCIV. THEOREMA XLVIII.

Si media duo ſimilaria, ſpatio planis parallelis utrinque terminato, diſtinguantur ab invicem, & corpus in tranſitu per hoc ſpatium attrahatur vel impellatur perpendiculariter verſus medium alterutrum, neque ullâ aliâ vi agitetur vel impediatur; ſit autem attractio, in æqualibus ab utroque plano diſtantiis ad eandem ipſius partem captis, ubique eadem: dico quod ſinus incidentiæ in planum alterutrum erit ad ſinum emergentiæ ex plano altero in ratione datâ.

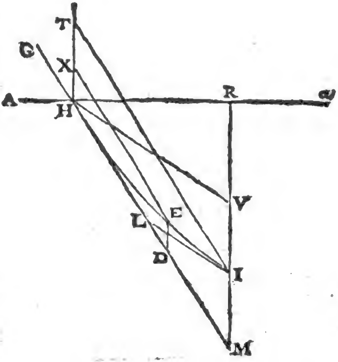
Caſ. 1. Sunto *A a*, *B b* plana duo parallela. Incidat corpus in planum prius *A a* (d) ſecundum lineam *G H*, ac toto ſuo per ſpatium intermedium tranſitu attrahatur vel impellatur verſus medium incidentiæ, eâque actione deſcribat lineam curvam *HI*, & emergat (e) ſecundum lineam *I K*. Ad planum emergentiæ *Bb* erigatur perpendiculum *I M*, occurrens tum lineæ incidentiæ *G H* productæ in *M*, tum plano incidentiæ *Aa* in *R*; & linea emergentiæ *K I* producta occurrat *H M* in *L*. Cen-



(d) 558. * *Secundum lineam G H.* Angulus incidentiæ hic dicitur complementum anguli G H A ad rectum, ſeu angulus quem linea G H conſtituit cum rectâ ad planum incidentiæ A a perpendiculariter erectâ in H. Angulus emergentiæ eſt etiam angulus K I M, quem linea directionis corporis emergentis, efficit cum rectâ I M ad planum emergentiæ B b, perpendiculari in I.

(e) * *Et emergat ſecundum lineam.* Patet rectas G H, I K ſeu corporis in H & I directiones, curvam H I in punctis H, I contingere.

L. Centro *L* intervallo *L I* deſcribatur circulus, ſecans tam *H M* in *P* & *Q*, quam *M I* productam in *N*; & primò ſi attractio vel impulſus ponatur uniformis, erit (ex demonſtratis *Galilæi* (f) curva *H I* parabola (g) cujus hæc eſt proprietas, ut rectangulum ſub dato latere recto & lineâ *I M* æquale ſit *H M* quadrato; ſed & linea *H M* biſecabitur in *L*. Unde ſi ad

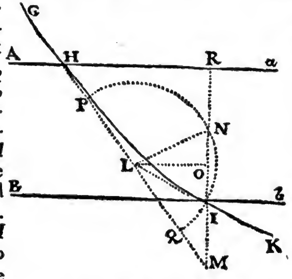


(f) * *Curva H I parabola*; cujus diameter I R, patet (per not. 40.).

(g) * *Cujus hæc eſt proprietas &c.* Ductis per punctum H diametro H T, & rectâ H V ad alteram diametrum I R ordinatim applicata, atque ex puncto I ad diametrum H T ordinatâ IT, erit ob parallelas MI, H T (*per th. 1. de parabolâ*) & parallelas M H, I T (*per lem. 4. de conic.*) M I = H T & I T = M H (*per 34. 1. Elem.*); ſed (*per theor. 1. de parabola*) quadratum ordinatæ T I æquale eſt rectangulo ſub dato latere recto diametri H T & abſciſsâ H T, ergò rectangulum ſub dato latere recto & lineâ M I æquale eſt H M quadrato; Et quoniam H M parabolam tangit in H, eſtque proindè (*per cor. 1. lem. 5. de Conic.*) I M = V I, & H V parallela L I, erit quoque H L = L M. Q. E D.

559. Ut latus rectum diametri H T in variis angulis incidentiæ datum ſit, oportet corporis parabolam deſcribentis velocitatem in puncto H, & plani incidentiæ A a vim attractricem eſſe datas. His autem datis, datum eſſe hoc latus rectum ità demonſtratur. Per punctum X in diametro

ad *M I* demittatur perpendiculum *L O*, (h) æquales erunt *M O*, *O R*; & additis (i) æqualibus *O N*, *OI*, fient totæ æquales *M N*, *I R*. Proinde cum *I R* detur, datur etiam *M N*; eſtque rectangulum *N M I* ad rectangulum ſub latere recto & *I M*, hoc eſt, ad *H M q*, in datâ ratione. (k) Sed rectangulum *NMI* æquale eſt rectangulo *P M Q*, id eſt, differentiæ quadratorum *MLq*, & *P L q* ſeu *L I q*; & *H M q* datam rationem habet ad ſui ipſius quartam partem *M L q*: ergo datur ratio *ML q* — *L I q* ad *M L q*, (l) & convertendo ratio *L I q* ad *MLq*, & ratio dimidiata *L I* ad *M L*. Sed in omni triangulo *L M I*, ſinus angulorum ſunt proportionales lateribus oppoſitis. Ergo datur ratio ſinus anguli incidentiæ *L M R* ad ſinum anguli emergentiæ *L I R*. *Q. E. D.*



Caſ. 2. Tranſeat jam corpus ſucceſſivè per ſpatia plura paral-

tro H T datum; agatur ordinatim applicata X E parabolæ occurrens in E, & per E ducatur E D parallela X H & tangenti H M occurrens in D, ac proindè æqualis datæ X H. Jam verò H X ſeu D E, eſt ſpatium quod corpus vi attractrice deſcribit eodem tempore dato quo motu uniformi projectionis percurrit H D, ideóque datis vi attractrice & velocitate projectionis, data quoque erit linea H D in quovis incidentiæ angulo G H T. Eſt autem latus rectum diametri H T tertia proportionalis ad abſciſſam H X, & ordinatam X E ſeu H D. Ergò datis vi attractrice & velocitate projectionis, datum ſeu conſtans eſt latus rectum diametri H T. Q. E. D.

(h) * *Æquales erunt* M O, O R (*per prop.* 2. *lib.* 6. *Elem.*)

(i) * *Æqualibus* O N, O I. Per prop. 3. lib. 3. Elem.

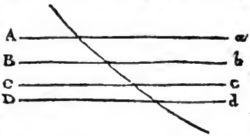
(k) * *Sed rectangulum N M I æquale eſt rectangulo* P M Q, (per cor. 1. prop. 36. lib. 3. Elem.) *id eſt, differentiæ quadratorum* ML^2 & PL^2, eſt enim $PM = ML + PL$, & $QM = ML - LQ = ML - PL$; Quare $PM \times QM = ML^2 - PL^2$. (*Per Corol.* 6. 2[i]. *Elem.*)

(l) * *Et convertendo.* Sint enim *A* & *B*, quantitates datæ, & $ML^2 - LI^2 : ML^2 = A^2 : B^2$: erit $ML^2 : LI^2 = B^2 : B^2 - A^2$, quæ eſt ratio data.

Digitized by Google

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XCIV. Theor. XLVIII.

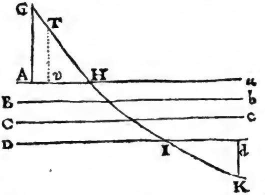
rallelis planis terminata, *AabB*, *BbcC*, &c. & agitetur vi quæ ſit in ſingulis ſeparatim uniformis, at in diverſis diverſa; & per jam demonſtrata, ſinus incidentiæ in planum primum *Aa* erit ad ſinum emergentiæ ex plano ſecundo *Bb*, in datâ ratione; & hic ſinus, qui eſt ſinus incidentiæ in planum ſecundum *Bb*, erit ad ſinum emergentiæ ex plano tertio *Cc*, in datâ ratione; & hic ſinus ad ſinum emergentiæ ex plano quarto *Dd*, in datâ ratione; & ſic in infinitum: & (m) ex æquo, ſinus incidentiæ in planum primum ad ſinum emergentiæ ex plano ultimo in datâ ratione. Minuantur jam planorum intervalla, & augeatur numerus in infinitum, eò ut attractionis vel impulſus actio, ſecundum legem quamcunque aſſignatam, continua reddatur, & ratio ſinus incidentiæ in planum primum ad ſinum emergentiæ ex plano ultimo, ſemper data exiſtens, etiamnum dabitur. *Q. E. D.*



PROPOSITIO XCV. THEOREMA XLIX.

Iiſdem poſitis; dico quod velocitas corporis ante incidentiam eſt ad ejus velocitatem poſt emergentiam, ut ſinus emergentiæ ad ſinum incidentiæ.

Capiantur *AH*, *Id* æquales, & erigantur perpendicula *AG*, *dK* occurrentia lineis incidentiæ & emergentiæ *GH*, *IK*, in *G* & *K*. In *GH* capiatur *TH* æqualis *IK*, & ad planum *Aa* demittatur normaliter *Tv*. Et (*per legum corol.* 2.) diſtinguatur motus corporis in duos, unum



(m) * *Et ex æquo.* Sint quantitates datæ A, B, C, D, &c. Sinus incidentiæ in planum primum S, ſinus emergentiæ ex ſecundo plano, idem qui ſinus incidentiæ in ſecundum planum T, & ità porrò ſinus ſint S, T, V, X, &c. ponaturque S : T = A : B, T : V = B : C, V : X = C : D, & erit, ex æquo, S : X = A : D.

Digitized by Google

unum planis *A a*, *B b*, *C c*, &c. perpendicularem, alterum iiſdem parallelum. Vis attractionis vel impulſus, agendo ſecundùm lineas perpendiculares, nil mutat motum ſecundùm parallelas, & propterea corpus hoc motu conficiet æqualibus temporibus æqualia illa ſecundùm parallelas intervalla, quæ ſunt inter lineam *AG* & punctum *H*, interque punctum *I* & lineam *dK*; (n) hoc eſt, æqualibus temporibus deſcribet lineas *GH*, *IK*. Proinde velocitas ante incidentiam eſt ad velocitatem poſt emergentiam, ut *GH* ad *IK* vel *TH*, id (o) eſt, ut *AH* vel *Id* ad *v H*, hoc eſt (reſpectu radii *T H* vel *IK*) (p) ſinus emergentiæ ad ſinum incidentiæ. *Q. E. D.*

PROPOSITIO XCVI. THEOREMA L.

Iiſdem poſitis, & (q) quod motus ante incidentiam velocior ſit quam poſtea, dico quod corpus, inclinando lineam incidentiæ, reflectetur tandem, & angulus reflexionis fiet æqualis angulo incidentiæ.



Nam concipe corpus inter parallela plana *A a*, *B b*, *C c*, &c. deſcribere arcus parabolicos, ut ſupra; ſintque arcus illi *H P*, *P Q*, *Q R*, &c. Et ſi ea lineæ incidentiæ *G H* obliquitas ad planum primum *A a*, ut ſinus incidentiæ ſit ad radium circuli, cujus eſt ſinus, in eâ ratione quam habet idem ſinus

(n) * *Hoc eſt, æqualibus temporibus.* Quoniam motu compoſito corpus fertur per lineas G H & I K, eodem tempore deſcribit G H quo A H, & I K quo I D, ſed (ex Dem.) tempora quibus conficiuntur intervalla parallela & æqualia A H, I D æquantur, ergò corpus æqualibus temporibus deſcribit lineas G H & I K.

(o) * *Id eſt ut A H vel I d ad v H.* Per prop. 2. lib. 6. Elem.

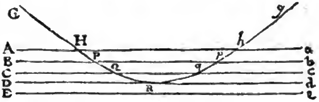
(p) * *Ut ſinus emergentiæ.* Eſt enim angulus v T H anguli T H v; & angulus I K d anguli K I d, complementum ad rectum, & proindè (558) prior eſt æqualis angulo incidentiæ, poſterior eſt æqualis angulo emergentiæ.

(q) * *Et quod motus antè incidentiam &c.* Ut angulus emergentiæ ſemper creſcat (*prop* 95.) & ipſius proindè complementum ad rectum ſemper decreſcat in tranſitu corporis per diverſa media.

De Motu Corporum. Liber Primus.

Prop. XCVI. Theor. L.

ſinus incidentiæ ad ſinum emergentiæ ex plano *D d*, in ſpatium *D d e E*: & ob ſinum emergentiæ jam factum æqualem radio, angulus emergentiæ erit rectus, ideoque linea emergentiæ coincidet cum plano *D d*. Perveniat corpus ad hoc planum in puncto *R*; & quoniam linea emergentiæ coincidit cum eodem plano, perſpicuum eſt quod corpus non poteſt ultra pergere verſus planum *E e*.



Sed nec poteſt idem pergere in lineâ emergentiæ *R d*, propterea quod perpetuò attrahitur vel impellitur (r) verſus medium incidentiæ. Revertetur itaque inter plana *C c*, *D d*, deſcribendo arcum parabolæ *Q R q*, (ſ) cujus vertex principalis (juxta demonſtrata *Galilæi*) eſt in *R*; ſecabit planum *C c* in eodem angulo in *q*, ac prius in *Q*; dein pergendo in arcubus parabolicis *q p*, *p h*, &c. arcubus prioribus *Q P*, *P H* ſimilibus & æqualibus, ſecabit reliqua plana in iiſdem angulis in *p*, *h*, &c. ac prius in *P*, *H*, &c. emergetque tandem eâdem obliquitate in *h*, quâ incidit in *H*. Concipe jam planorum *A a*, *B b*, *C c*, *D d*, *E e*, &c. intervalla in infinitum minui & numerum augeri, eo ut actio attractionis vel impulſus ſecundum legem quamcunque aſſignatam continua reddatur: & angulus emergentiæ ſemper angulo incidentiæ æqualis exiſtens, eidem etiamnum manebit æqualis. *Q. E. D.*

Scho-

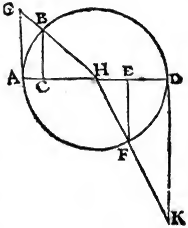
(r) * *Verſus medium incidentiæ* v. gr. *C c.*

(ſ) * *Cujus vertex principalis.* Quoniam enim (ut patet ex not. 40.) omnes diametri parabolæ Q R q ſunt ad baſim Q q perpendiculares, erit Q q ad axem ordinatim applicata, cumque recta D R d ipſi Q q parallela parabolam tangat in R, (40) erit R vertex principalis (*per lem. 4. de Conic.*) & propterea velocitates corporis in locis Q & q à vertice R æquè remotis æquales erunt, & directiones illius ad lineam Q q æque inclinatæ: Inſuper velocitas perpendicularis quâ corpus ex ſolâ vi attractrice ad planum P p urgetur, iiſdem gradibus creſcit per totum ſpatium q p, quibus antè decreverat per ſpatium æquale P Q. Quarè corpus *pergendo in arcubus parabolicis* &c.

Scholium.

PROP. XCVI. THEOR. L.

Harum attractionum haud multum diſſimiles ſunt lucis reflexiones & refractiones, factæ ſecundum datam ſecantium rationem, ut invenit *Snellius*, (t) & per conſequens ſecundum datam ſinuum rationem, ut expoſuit *Carteſius*. Namque lucem ſucceſſivè propagari & ſpatio quaſi ſeptem vel octo minutorum primorum à ſole ad terram venire, (u) jam conſtat per phænomena ſatellitum *Jovis*, obſervationibus diverſorum aſtronomorum confirmata. Radii autem in aëre exiſtentes (uti dudum *Grimaldus*, luce per foramen in tenebroſum cubiculum admiſſâ, invenit, & ipſe quoque expertus ſum) in tranſitu ſuo prope corpo-

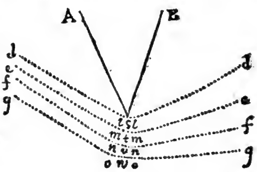


(t) * *Et per conſequens.* Lucis radius G H incidat in planum refringens A D, ſitque radius refractus H K. Centro H & radio quovis H A, circulus deſcribatur planum ſecans in A & D radioſque lucis in B & F. Erigantur ad planum perpendicula A G, C B, E F, D K. Villebrordus Snellius, referente Iſaaco Voſſio in ſuâ diſſertatione de lucis naturâ & proprietate, inveneras ſecantes G H, H K angulorum G H A, K H D, eſſe in datâ ratione. Verùm indè ſequitur quod Carteſius poſteà vulgavit, datam quoque eſſe rationem linearum C H, H E quæ ſunt ſinus angulorum incidentiæ C B H, & emergentiæ H F E (558). Nam B H : G H = C H : A H (ſeu B H) & K H : F H (ſeu B H) = H D (ſeu B H) : H E, & ex æquo, K H : G H = C H : H E. Quarè datâ ratione G H ad K H, datur quoque ratio H E ad C H.

(u) * *Jam conſtat per phænomena.* Jupiter cum ſuis quatuor ſatellitibus circà ſolem ceù centrum revolvitur in trajectoriâ quæ tellurem ambitu ſuo complectitur, undè fit ut perpetuò mutetur Jovis à tellure diſtantia, quæ, cæteris paribus, minima eſt, tellure ſolem inter & Jovem poſitâ, maxima verò, ſole inter Jovem & tellurem locato, atque harum diſtantiarum differentia orbis magni diametro, ſeu duplæ diſtantiæ ſolis à terrâ æqualis eſt. Si igitur lucis propagatio inſtantanea non eſt, ſed ſucceſſiva, & per orbis magni diametrum ſenſibili aliquo tempore diffundatur; neceſſe eſt ut ſatellitis Ecclipſis, quæ contingit dum Jovis umbram ſubit, tardius à nobis videatur in majori illâ Jovis diſtantiâ, citiùs in minori, atque ità rem ſe habere, *Rœmerus* aliique deinde plures Aſtronomi obſervarunt. Cæterum alii cauſæ præter ſucceſſivam lucis propagationem inæqualitatem illam ſatellitum tribuendam eſſe contendit Clariſſ. *Maraldus* in Comm. Pariſ. 1707. quod etiam jam antea Magno *Caſſino* viſum fuerat. Sed Clariſſimus *Granjean* ejus argumentis reſpondet in Comm. Pariſ. 1732. Horum Diſſertationes videſis.

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XCVI. THEOR. L.

porum vel opacorum vel perſpicuorum angulos (quales ſunt nummorum ex auro, argento & ære cuſorum termini rectanguli circulares, & cultrorum, lapidum aut fractorum vitrorum acies) incurvantur circum corpora, quaſi attracti in eadem; & ex his radiis, qui in tranſitu illo propius accedunt ad corpora incurvantur magis, (x) quaſi magis attracti, ut ipſe etiam diligenter obſervavi. Et qui tranſeunt ad majores diſtantias minus incurvantur; & ad diſtantias adhuc majores incurvantur aliquantulum ad partes contrarias, & tres colorum faſcias efformant. In figura deſignat *s* aciem cultri vel cunei cujuſvis *As B*; & *g o w o g*, *f n u n f*, *e m t m e*, *d l s l d* ſunt radii, arcubus *o w o*, *m t m*, *l s l* verſus cultrum incurvati; idque magis vel minus pro diſtantia eorum à cultro. Cum autem talis incurvatio radiorum fiat in aere extra cultrum, debebunt etiam radii, qui incidunt in cultrum, prius incurvari in aere quam cultrum attingunt. Et par eſt ratio incidentium in vitrum. (y) Fit igitur refractio, non in puncto incidentiæ, ſed paulatim per continuam incurvationem radiorum, factam



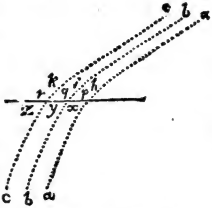
(x) * *Quaſi magis attracti.* Alia egregia experimenta vide in *Newtoni* Opticâ initio lib. 3. & quæſt. 29.

(y) * *Fit igitur refractio & reflexio.* Vide *Prop.* 8. & 9. *Partis* 3æ. *Lib.* Optices *Newtoni.* Sed ut res clariùs intelligatur, ſint media duo contigua, A a b B, B b c C, planis parallelis terminata, & quorum talis ſit attractionis lex ut ultrà diſtantiam p R à medio alterutro evaneſcat ejus medii attractio. Itaque centro p & radio p R (*fig.* 1.) deſcribatur circulus vel potiùs ſphæra R Z V X quæ planum B b non attingat, corpus p verſus omnia hujus ſphæræ puncta æqualiter attractum, nullam in partem inflectetur, ſed manebit in lineâ rectâ G C, ſecundùm quam moveri ſupponitur. Si in eâdem rectâ G C, capiatur punctum C, à plano B b remotum diſtantiâ C V = P R, ſitque vis attractiva verſùs medium B b c C, major vi attractivâ medii A a b B, in eo ipſo loco c corpus a rectâ viâ G c deflectere curvamque lineam deſcribere incipiet. Perveniat (2°.) corpus en C in e, per curvam c e, & ductâ H M ad plana A a, B b perpendiculari, ac per punctum e, rectâ e T, quæ curvam c e tangat in e, & perpendiculo H M occurrat in T, erit angulus e T c minor angulo incidentiæ G H M; nam cum ſegmentum K V L, in hemiſphærio X V Z magis trahat verſùs planum B b, quam ſegmentum ipſi æquale in hemiſphærio X R Z, (*ex hyp.*) verſùs planum A a, manifeſtum eſt curvam deorſum inflecti, ideóque tangentem e T à radio inciden-

te

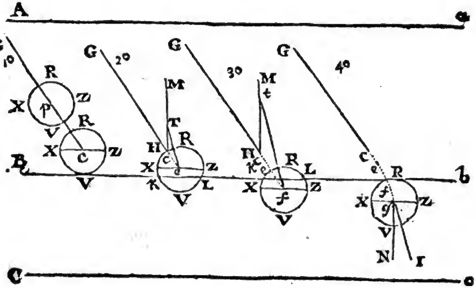
Digitized by Google

factam partim in aere antequam attingunt vitrum, partim (ni fallor) in vitro, poſtquam illud ingreſſi ſunt: uti in radiis *e k z c*, *b i y b*, *a h x a* incidentibus ad *r*, *q*, *p*, & inter *k* & *z*, *i* & *y*, *h* & *x*, incurvatis, delineatum eſt. Igitur ob analogiam quæ eſt inter propagationem radiorum lucis & progreſſum corporum, viſum eſt propoſitiones



ſequentes in uſus opticos ſubjungere; interea de naturâ radiorum (utrum ſint corpora necne) nihil omnino diſputans, ſed trajectorias corporum trajectoriis radiorum perſimiles ſolummodo determinans.

PRO-

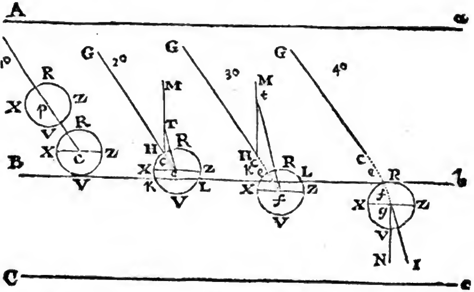


re GC, versùs ſuperiora M recedere. Similiter ubi corpuſculum C eſt in f (3°.) intrà medium B o c C, magis trahitur versùs planum C c, ab hemiſpherio X V Z, quam retrahitur versùs planum B b, ab altero hemiſpherio X R Z, cujus ſegmentum k R L, minus trahit, quam æquale ſegmentum in hemiſpherio X V Z; quarè angulus H t f, quem tangens f t num perpendiculo H M efficit, adhuc minor eſt quam angulus H T e (2°.). Sed cùm tandem corpuſculum c pervenit in g (4°.), locum à plano B b remotum diſtantiâ maximâ g R = p R, tum corpus p, æqualiter undique attractum (*ex hypotheſi*) ſemitam non ampliùs mutat, ſed rectâ movetur per

PROPOSITIO XCVII. PROBLEMA XLVII.

Poſito quod ſinus incidentiæ in ſuperficiem aliquam ſit ad ſinum emergentiæ in datâ ratione; quodque incurvatio viæ corporum juxta ſuperficiem illam fiat in ſpatio breviſſimo, quod ut punctum conſiderari poſſit : determinare ſuperficiem, quæ corpuſcula omnia de loco dato ſucceſſivè manantia convergere faciat ad alium locum datum.

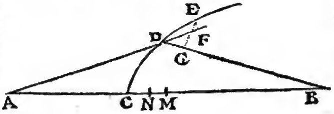
Sit *A* locus à quo corpuſcula divergunt ; *B* locus in quem convergere debent ; *C D E* curva linea quæ circa axem *A B* revo-



g I, quæ curvam c e f g tangit in g, eſtque angulus N g I, quem g I cum g N ad B b perpendiculari conſtituit, ſeu angulus emergentiæ minor adhuc angulo H t f (3°). Oppoſitum eveniet, ſi medium B b c C, minus trahat quam medium A a b B, & refractio in reflexionem mutari poterit. Fit igitur refractio & reflexio non in puncto incidentiæ R (4°). Sed paulatim per continuam incurvationem radiorum, ut NEWTONUS docet. Quòd ſi itaque certiſſimis experimentis conſtet radios lucis à corporibus quaſi attrahi in minimis diſtantiis, NEWTONUS veram hic demonſtravit cauſam illarum lucis affectionum, quibus contingit ut radii incidentes in ſuperficiem corporis reſiliant in plano ad eam verticali, ſub angulis reflexionis æqualibus angulis incidentiæ, atque ut ex uno medio in aliud diverſæ denſitatis aut diverſæ vis trahentis, obliquè penetrantes refrangantur in plano ad ſuperficiem, quæ duo media dirimit itidem recto, ità ut ſinus incidentiæ & emergentiæ datam ſervent rationem. Satis enim liquet plana linearum GHI & GHP.h, in ſuperioribus propoſitionibus, perpendicularia eſſe ad plana A a, B b, ut planum parabolæ quam gravia in hypotheſi Galilæi deſcribunt perpendiculare eſt ad horizontem. Quænam verò cauſa ſit attractionis aut tendentiæ vel impulsûs radiorum lucis in corpora: alia quæſtio eſt quam hic agitare minimè neceſſe eſt, quâque ſepoſitâ, interim ex certis experimentis mathematicâ demonſtratione, oſtenſa eſt reflexionis & refractionis lex & cauſa ;

quem-

revolutâ deſcribat ſuperficiem quæſitam ; *D*, *E* curvæ illius puncta duo quævis; & *EF*, *EG* perpendicula in corporis vias *AD*, *DB* demiſſa. Accedat punctum *D* ad punctum *E*; & lineæ *DF*, quâ *AD* augetur, ad lineam *DG*, quâ *DB* diminuitur, (z) ratio ultima erit eadem, quæ ſinus incidentiæ ad ſinum emergentiæ. Datur ergo ratio incrementi lineæ *AD* ad de-



crementum lineæ *DB*; & propterea ſi in axe *AB* ſumatur ubivis punctum *C*, per quod curva *CDE* tranſire debet, & capiatur ipſius *AC* incrementum *CM* ad ipſius *BC* decrementum *CN* in datâ illâ ratione, centriſque *A*, *B*, & intervallis *AM*, *BN* deſcribantur circuli duo ſe mutuo ſecantes in *D*; (a) punctum illud *D* tanget curvam quæſitam *CDE*, eandemque ubivis tangendo determinabit. *Q. E. I.*

Corol. 1. Faciendo autem ut punctum *A* vel *B*, nunc abeat in infinitum, nunc migret ad alteras partes puncti *C*,

quemadmodum ſemel cognitis (per experientiam) gravitate atque elaterio aëris, rectè quis aſcenſus & deſcenſus liquorum in tubis vacuis cauſam atque legem demonſtraſſe cenſetur, dum ex iis aëris proprietatibus quarum cauſas ignorat, hæc phænomena accuratè deduxit. Nam juxtà rectam philoſophandi rationem, in naturæ phænomena primum debemus diligenter inquirere, ut poſteà motus corporum eorumque leges, & cauſas accuratius inveſtigare & cognoſcere poſſimus. Cæterùm in phænomena reflexionis ac refractionis locis eorumque cauſas inquiſierunt Philoſophi ac Mathematici celeberrimi, *Carteſius* cap. 2°. *Dioptrices* per leges generales reſolutionemque motuum, & ſupponendo lumini minorem reſiſtentiam in denſioribus quam in rarioribus mediis objici; *Leibnitzius* in Actis Eruditorum Lipſienſibus An. 1682. pag. 185. hâc factâ hypotheſi, quod lumen à puncto radiante ad punctum illuſtrandum viâ omnium facillimâ perveniat, quâ etiam uſus erat anteà *Fermatius*; *Hugenius* in tractatu de lumine per naturam undulationis luminis rem totam explicat, & *Joannes Bernoullius* in Actis Lipſ. an. 1701. ex æquilibrii fundamento eam ingenioſiſſime deduxit.

(z) * *Ratio ultima erit eadem.* Nam lineolâ D E pro radio ſeu ſinu toto uſurpatâ, lineolæ D F, D G ſunt ſinus angulorum DEF, DEG; ſed angulus DEF eſt complementum ad rectum anguli E D F, ſeu A D C, ideoque æqualis eſt angulo incidentiæ, & angulus D E G eſt complementum ad rectum anguli E D G, ideoque æqualis eſt angulo emergentiæ (558). Ergò lineæ D F ad lineam DG ratio ultima erit eadem quæ ſinus incidentiæ ad ſinum emergentiæ, ideóque data. Et hinc (*per cor. Lem.* 4.) datur ratio incrementi totius finiti lineæ A D, ad decrementum totum finitum lineæ D B.

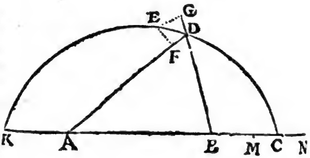
(a) * *Punctum illud D.* Atque eodem modo, aſſumendo varia incrementa C M, & decrementa C N, puncta diverſa lineæ C D E determinabuntur. Si verò centro B & radio quovis deſcribatur circulus, curvam C,E ſecans in E, & lineam A B in

(b) habebuntur figuræ illæ omnes, quas *Carteſius* in optica & geometria ad refractiones expoſuit. Quarum inventionem cùm *Carteſius* celaverit, viſum fuit hâc propoſitione exponere.

Corol. 2. Si corpus in ſuperficiem quamvis $C\,D$, ſecundum lineam rectam $A\,D$, lege quâvis ductam incidens, emergat ſecundum aliam quamvis rectam $D\,K$, & à puncto C duci intel-

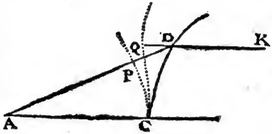
in N, & indè convolutione ſuperficiei CEN, circà axem C N ſolidum corpus conficiatur, corpuſculum ex D, per lineam D B ad centrum B circuli deſcripti tendens, non refrangetur, dum ex ſuperficie circulari concavâ E N egreditur, quod corpuſculi directio D B, ſit ad illam ſuperficiem perpendicularis, atque ita corpuſculum ſemper perveniet ad punctum B.

(b) * *Habebuntur figuræ illæ omnes.* Quas enim lineas *Carteſius* Geometriæ lib. 2°. pag. 50. & ſeq. dicit A 5, A 6, vel A 7, A 8, eas NEWTONUS hîc vocat C M, C N, & de cætero eadem eſt utriuſque authoris conſtructio. Undè manifeſtum eſt, ſi punctum C, inter puncta A & B, & punctum N inter C & M, ſita ſint, primam *Carteſii* ovalem *Newtonianâ* conſtructione deſcribi; ſi manentibus punctis A, C, B, M, punctum N, inter C & A locetur, 2am. ovalem *Carteſianam* obtineri; ſi verò punctum B ad alteras partes puncti C migret ultrà A, & punctum C ſit inter A & N, atque M, 3am. *Carteſii* ovalem haberi, iiſdemque poſitis, ſi punctum N ſit inter C, & A, 4am. ovalem *Carteſii* delineari. Porrò, ſi punctum A vel B in infinitum abeat ut radii incidant vel refringantur paralleli, tum per punctum M vel N erigendum erit perpendiculum, quod circulus centro B vel A, & radio B N, vel A M, deſcriptus ſecabit in puncto quæſito D, curvæ C D E, quæ erit ellipſis vel hyperbola, ut calculo inito facilè patet, atque hæ ſunt figuræ quibus *Carteſius* cap. 8°. *Dioptrices* uſus eſt.

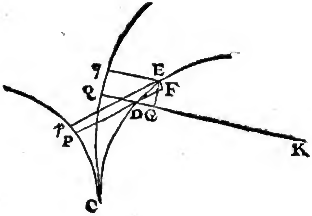


Eadem eſt demonſtratio, ſi ſuperficies CDE incidentes radios reflectit, quo caſu fit C N = C M, ob angulum incidentiæ æqualem angulo emergentiæ (*per prop. 96.* (& curva C D E erit ſectio conica; videlicet hyperpola, ſi punctum C inter A & B ſitum; ellipſis, ſi extrà poſitum ſit; Parabola, ſi ellipſeos focus B in infinitum abeat, & circulus, ſi puncta A & B coeant. Nam ſi punctum C inter A & B ſitum ſit, & N inter A & C, cum ſit A D = A M, & B D = B N (per conſtr.) rectarum A D, B D differentia data erit, ut potè æqualis A M — B N = A C + C M — B C — C N = A C — B C, ob C M = C N, ideòque curva C D E erit hyperbola cujus foci A & B, (*per theor. 3. de hyperbolâ*). Si punctum C inter puncta A & B poſitum non eſt, ut in hâc figurâ, rectarum A D, B D ſumma data erit, in hoc enim caſu punctum C, eſt inter N, & M, atque A D + B D = A C + C M + B C + C N = A C + B C. Eſt igitur C D E ellipſis cujus foci A & B, (*Theor. 3. de Ellipſi*) quæque foco alterutro in infinitum abeunte mutatur in parabolam & focis coeuntibus mutatur in circulum.

telligantur lineæ curvæ *C P*, *C Q* ipſis *AD*, *DK* ſemper perpendiculares: (c) erunt incrementa linearum *P D*; *Q D*, atque ideo lineæ ipſæ *P D*, *Q D*, incrementis iſtis genitæ, ut ſinus incidentiæ & emergentiæ ad invicem: & contra.



PRO-



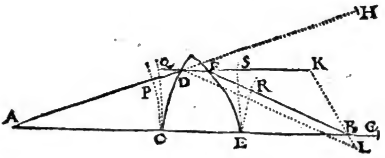
(c) 561. * *Erunt incrementa &c.* Nam ſi capiatur arcus quàm minimus D E, atque ex puncto E in curvas C P, C Q, & in rectas P D, Q K, demittantur perpendicula E p, E q & E F, E G, coeuntibus punctis E & D, erunt E F, P p & E G, Q q ſibi mutuò parallelæ, & proindè P F, p E & Q G, q E, æquales, ideóque D F & D G erunt rectarum P D, Q D incrementa naſcentia. Sed, (ex demonſtratis ſuprà) D F eſt ad D G, ut ſinus incidentiæ ad ſinum emergentiæ, quarè incrementa linearum P D; Q D; atque adeò (*cor. Lem.* 4.) lineæ ipſæ P D, Q D, (quæ ſimul naſcuntur in puncto C) incrementis iſtis genitæ, erunt ut ſinus incidentiæ & emergentiæ ad invicem, & contrà, ſi lineæ P D, Q D curvis C P, C Q perpendiculares ſint ut ſinus incidentiæ & emergentiæ, erunt earum incrementa naſcentia in eâdem ſemper ratione, ac proinde ſi corpus in ſuperficiem C D ſecundum lineam P D incidat, emerget ſecundùm lineam Q D ſeu D K.

De Motu Corporum. Liber Primus. Prop. XCVIII. Probl. XLVIII.

PROPOSITIO XCVIII. PROBLEMA XLVIII.

Iiſdem poſitis, & circa axem A B *deſcriptâ ſuperficie quâcunque attractivâ* C D, *regulari vel irregulari, per quam corpora de loco dato* A *exeuntia tranſire debent: invenire ſuperficiem ſecundam attractivam* E F, *quæ corpora illa ad locum datum* B *convergere faciat.*

Juncta *A B* ſecet ſuperficiem primam in *C* & ſecundam in *E*, puncto *D* utcunque aſſumpto. Et poſito ſinu incidentiæ in ſuperficiem primam ad ſinum emergentiæ ex eâdem, & (d) ſinu emergentiæ è ſuperficie ſecundâ ad ſinum incidentiæ in eandem, ut quantitas aliqua data M ad aliam datam N: pro-



ductum *A B* ad *G*, ut ſit *B G* ad *C E* ut M—N ad N; tum *A D* ad *H*, ut ſit *A H* æqualis *A G*; tum etiam *D F* ad *K*, ut ſit *D K* ad *D H* ut N ad M. Junge *K B*, & centro *D* intervallo *D H* deſcribe circulum occurrentem *K B* productæ in *L*, ipſique *D L* parallelam age *B F*: & punctum *F* tanget lineam *E F*, quæ circa axem *A B* revoluta deſcribet ſuperficiem quæſitam. *Q. E. F.*

Nam

(d) * *Et ſinus emergentiæ è ſuperficie ſecunda &c.* Eſt enim ſinus emergentiæ è ſuperficie ſecundâ E F, ad ſinum incidentiæ in eamdem, ut ſinus incidentiæ in ſuperficiem primam C D, ad ſinum emergentiæ ex eâdem. Nam ſi radius incidens A D refrangitur per D F, ob eandem rationem radius F D, incidens in D refrangetur per D A, & qui ſinus erat incidentiæ in primo caſu, fit ſinus emergentiæ in ſecundo.

Digitized by Google

PROP. XCVIII. PROBL. XLVIII.

Nam concipe Lineas CP, CQ ipſis AD, DF reſpectivè, & Lineas ER, ES ipſis FB, FD ubique perpendiculares eſſe, (e) ideoque QS ipſi CE ſemper æqualem; & erit (*per Corol. 2. Prop.* XCVII.) PD ad QD ut M ad N, (f) ideoque ut DL ad DK vel (g) FB ad FK; & (h) diviſim ut $DL-FB$ ſeu $PH-PD-FB$ ad FD ſeu $FQ-QD$; & compoſitè ut $PH-FB$ ad FQ, id eſt (ob (i) æquales PH & CG, QS & CE) $CE+BG-FR$ ad $CE-FS$. Verùm (ob proportionales BG ad CE & M — N ad N) eſt etiam $CE+BG$ ad CE ut M ad N: (k) ideoque diviſim FR ad FS ut M ad N, & propterea per *Corol.* 2. *Prop.* XCVII, ſuperficies EF cogit corpus, in ipſam ſecundum lineam DF incidens, pergere in linea FR ad locum B. *Q. E. D.*

Scholium. Eâdem methodo pergere liceret ad ſuperficies tres vel plures. Ad uſus autem opticos maxime accommodatæ ſunt figuræ ſphæricæ. Si perſpicillorum vitra objectiva ex vitris duobus ſphæricè figuratis & aquam inter ſe claudentibus conflentur; fieri poteſt ut à refractionibus aquæ errores refractionum, quæ fiunt in vitrorum ſuperficiebus extremis, ſatis accuratè corrigantur. Talia autem vitra objectiva vitris ellipticis & hyperbolicis præferenda ſunt, non ſolum quod facilius & accuratius formari poſſint, ſed etiam quod penicillos radiorum extra axem vitri ſitos accuratius refringant. Verùm tamen diver-

(e) * *Ideòque QS ipſi CE ſemper æqualem.* Cùm enim linea QS; ſit ſemper perpendicularis utrique lineæ CQ, ES (*ex Hyp.*) ea nec creſcit, nec decreſcit, ob partes curvarum in Q & S ſemper parallelas, ut patet.

(f) * *Ideoque ut D L ad D K.* Eſt enim (*per conſtr.*) D K ad D H, ut N ad M, & $DL = DH$, *per conſt.*

(g) * *Vel F B ad F K.* Ob parallelas D L, F B (*per conſtr.*)

(h) * *Et diviſim.* Cùm ſit $PD : QD = DH : DK = FB : FK$, erit diviſim $DH : DK$, ſeu $PD : QD = DH - FB : DK - FK = PH - PD - FB : DF$, ſeu $QF - QD$, & compoſitè $PD : QD = PH - PD + PD - FB$, ſeu $PH - FB : QF - QD + QD$, ſeu $QF = M : N$.

(i) * *Ob æquales P H & C G.* Nam (per conſtr.) $AH = AG$, & quoniam punctum A datum eſt, eſtque A P ſemper perpendicularis ad curvam C P, liquet eam curvam eſſe circulum cujus centrum A, undè $AP = AC$, & hinc $PH = CG$; & ſimili modo patet eſſe $BR = BE$, ob datum punctum B.

(k) * *Ideoque diviſim &c.* Nam cùm ſit (ex demonſtratis) $M : N = CE + BG - FR : CE - FS = CE + BG : CE$, erit diviſim $M : N = FR : FS$.

Digitized by Google

DE MOTU CORPORUM. LIBER PRIMUS. PROP. XCVIII. PROBL. XLVIII.

diverſa diverſorum radiorum refrangibilitas impedimento eſt; quò minus Optica per figuras vel ſphæricas vel alias quaſcunque perfici poſſit. Niſi corrigi poſſint errores illinc orinudi, labor omnis in cæteris corrigendis ([1]) imperitè collocabitur.

(1) * *Imperitè collocabitur.* Vide primam partem Lib. I. Optices *Newtonianæ*, ubi egregiis experimentis auctor demonſtravit radios diverſi coloris eſſe etiam diverſè refrangibiles; unde fit ut focus Lentis objectivæ Teleſcopiorum (in quo fit objectorum imago quæ trans vitrum oculare ſpectatur) non ſit unicus, ſed focus radiorum violaceorum remotiſſimus ſit ab oculari, focus radiorum rubrorum ſit proximus, radii ergo ex illis variis imaginibus procedentes inæqualiter colliguntur à vitro oculari, niſi ejus focus adeo remotus ſit ut intervallum inter diverſas illas imagines ejus reſpectu evaneſcat; ſed manente Lente objectivâ, aucto foco Lentis ocularis diminuitur in eâdem ratione amplificatio objecti; ſic ergo quantumvis accuratè colligerentur radii per objectivæ Lentis figuram, hæc focorum multiplicitas neutiquam corrigetur niſi diſpendio amplificationis objecti: Hæc Theoria NEWTONUM ad inventionem Teleſcopiorum Catoptricorum deduxit, quæ *Prop.* 7. & 8. *Lib.* I. *Optices* ab ipſo explicantur, & quæ cum levi mutatione in uſum communiſſimum venêre.

FINIS TOMI PRIMI.

Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06725 1424

1817
ARTES SCIENTIA VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR

B 449735

Digitized by Google